FACULTE DE MEDECINE DE STRASBOURG

ANNEE 1963 N° 71

THESE

PRESENTEE POUR LE DOCTORAT EN MEDECINE

PAR

RUOLT Jean

né à ALTKIRCH (Haut-Rhin)

le 21 Janvier 1937

Interne des Hôpitaux de Strasbourg

LA TONOGRAPHIE DANS LE DIAGNOSTIC CLINIQUE DU GLAUCOME CHRONIQUE SIMPLE AU DEBUT

Président: M. J. NORDMANN, Professeur

FACULTE DE MEDECINE DE STRASBOURG

ANNEE 1963 N° 71

THESE

PRESENTEE POUR LE DOCTORAT EN MEDECINE

PAR

RUOLT Jean

né à ALTKIRCH (Haut-Rhin)

le 21 Janvier 1937

Interne des Hôpitaux de Strasbourg

LA TONOGRAPHIE DANS LE DIAGNOSTIC CLINIQUE DU GLAUCOME CHRONIQUE SIMPLE AU DEBUT

Président: M. J. NORDMANN, Professeur

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

FACULTE DE MEDECINE DE STRASBOURG

MM.

Doyen	FONTAINE
Doyen honoraire	CALLOT
Assesseur	CALLOT

- PROFESSEURS TITULAIRES -

Anatomie	MEYER
Anatomie Pathologique	LEGAL
Biologie Médicale	KLEIN
Chimie Biologique	MANDEL
Embryologie	CLAVERT
H istologie	ARON M.
Histologie	ARON Cl.
Hématologie	WAITZ
Hygiène et Bactériologie	TULASNE
Médecine Légale et Médecine Sociale	CHAUMONT
Parasitologie et Médecine Tropicale	CALLOT
Pharmacologie et Médecine Expérimentale	SCHMID
Physiologie	KAYSER
Physiologie Appliquée	METZ
Physique Biologique	CHEVALLIER
Clinique Chirurgicale A	FONTAINE
Clinique Chirurgicale B	WEISS
Clinique Médicale A	WARTER
Clinique Médicale B	STAHL
Clinique Dermatologique	WORINGER
Clinique de Pédiatrie et Puériculture	SACREZ
Clinique Neurologique	THIEBAUT
Pathologie Nerveuse et Electroencéphalographie	ROHMER
Clinique Gynécologique et d'Accouchement	BURGER
Clinique Ophtalmologique	NORDMANN
Clinique Oto-Rhino-Laryngologique	GREINER
Chaire de Clinique de Pneumo-Phtisiologie	OUDET
Clinique Psychiatrique	KAMMERER
Pathologie Chirurgicale	JUNG
Chaire de Thérapeutique	METZGER
Chaire d'Electro-Radiologie	GROS
Pathologie Expérimentale	STEPHAN
Stomatologie	VEDRINE
Hydrologie	N....

- PROFESSEURS SANS CHAIRE -

Physiologie	MARX
Anatomie	WINCKLER
H ygiène et Bactériologie	MINCK
Histologie	MARESCAUX
Hématologie	MAYER G.

- MAITRES DE CONFERENCES AGREGES -

MM. APROSIO
BATZENSCHLAGER
CHAMBON
CHAMBRON
KARLI
KIRN
KORITKE
LAVILLAUREIX
SCHAFF
WEILL J.D.

- AGREGES -

MM. BOCKEL
BOLLACK
BRONNER
BURGHARD
CHAMPY
DORNER
FRANK
GANDAR
HOLLENDER
ISRAEL
JAHN
JUIF
KIENY
KLOTZ
LEVY J.M.
MANTZ
MARCOUX
MULLER J.N.
MULLER P.
SCHWARTZ
WEILL J.P.
WITZ
SIBILLY

- AGREGES LIBRES -

MM. BUCK, FORSTER, KUHLMANN D., KUNTZMANN, VOEGTLIN, BEYER.

- DIRECTEUR DE L'INSTITUT DENTAIRE -

M. VEDRINE

- CHARGES D'UN COURS D'ENSEIGNEMENT COMPLEMENTAIRE -

MM. MEHL J., TISSIER, MUGLER A., SINGER, MATHIS, Mme MAYER S., MOISE

- PROFESSEURS HONORAIRES -

MM. BARRE
BENOIT
HANNS
KELLER
REDSLOB
ROHMER
ROEDERER
VAUCHER
VINTEMBERGER

La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ni les approuver, ni les improuver.

S E R M E N T D ' H I P P O C R A T E

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers condisciples, je promets et je jure au nom de l'Etre Suprême d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les moeurs, ni à favoriser les crimes.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maître, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis resté fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552711_0020

A MES PARENTS

A MA FEMME

A MA FAMILLE

A MES AMIS

A notre Maître et Président de Thèse

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. NORDMANN
Directeur de la Clinique Ophtalmologique

Nous lui devons d'aimer l'Ophtalmologie.
Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance pour sa grande bienveillance à notre égard et pour le riche enseignement qu'il nous a toujours donné.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGREGE A. BRONNER

Ophtalmologiste des Hôpitaux

Nous lui adressons nos vifs remerciements
pour les conseils éclairés et l'aide amicale
dont il nous a constamment entouré.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGREGE J. KUNTZMANN

Chirurgien des Hôpitaux

Il nous a toujours témoigné sa sympathie.
Nous sommes heureux de le compter parmi
nos Juges.

A MONSIEUR LE DOCTEUR BRINI

Assistant Universitaire délégué dans les fonctions d'Agrégé

Son enseignement et sa bienveillante
sollicitude nous ont été précieux.

A MONSIEUR LE DOCTEUR LOBSTEIN

A MONSIEUR LE DOCTEUR J.P. GERHARD

Nous le remercions de l'amitié qu'il nous a toujours témoignée et de l'aide précieuse qu'il nous a apportée tout au long de ce travail.

A tous mes Amis de la Clinique Ophtalmologique.

I N T R O D U C T I O N

Durant les dernières années, de nombreux travaux ont été consacrés à la pathogénie du glaucome chronique simple et à son mode d'évolution, habituellement redoutable. Tous les auteurs sont unanimes pour souligner l'importance primordiale du diagnostic précoce, avant toute atteinte du champ visuel, permettant alors, dans de très nombreux cas, de retarder ou même de stabiliser l'évolution de la maladie, à l'aide d'un traitement approprié.

A la Clinique Ophtalmologique de Strasbourg, poser le diagnostic précoce du glaucome chronique est une de nos préoccupations essentielles. Le tonus oculaire est mesuré systématiquement au tonomètre de SCHIÖTZ et à l'aplanotonomètre de GOLDMANN chez tous les malades de policlinique âgés de plus de quarante ans. Un chiffre tonométrique dépassant 22 mm Hg, retrouvé à plusieurs contrôles, fait considérer le malade comme suspect de glaucome. En général, nous demandons au malade de se faire hospitaliser quelques jours pour un bilan fonctionnel complet.

Dans le cadre de ce bilan entrent les épreuves de provocation : épreuve à l'eau, au priscol, à l'homatropine, épreuves permettant de tester l'oeil suspect. C'est dans ce but également qu'a été mise au point, par M. GRANT en 1950, la tonographie. Fondée sur la loi de POISEUILLE, la tonographie a suscité au début de grands espoirs. On pensait détenir l'épreuve déterminante sur laquelle on pouvait se baser en toute confiance.

Cependant, à la lumière des premiers tracés tonographiques faits aux Etats-Unis et en Europe, les critiques se sont faites de plus en plus nombreuses, tant sur le plan théorique que sur le plan de l'application pratique en clinique. De multiples facteurs pouvant influencer défavorablement la valeur de la méthode ont été révélés et, partant de ces nouvelles considérations, de très nombreux auteurs ont proposé des modifications à la technique initiale de GRANT.

Devant tant de nouvelles données et tant de techniques diverses proposées aux cliniciens, la tonographie a perdu de son crédit et, si elle

n'est pas tombée dans l'oubli, néanmoins ses résultats ont-ils été accueillis avec circonspection durant les dernières années.

Le but de ce travail tend à répondre aux questions suivantes :

- La tonographie a-t-elle sa place dans le cadre des méthodes d'investigations cliniques du glaucome chronique ?
- Dans l'affirmative, faut-il considérer que les valeurs recueillies sont d'une plus grande utilité que les tests habituels de provocation ?

Nous avons, pour ce faire, tonographié systématiquement tous les malades hospitalisés à la clinique pour suspicion de glaucome. Ce sont les résultats de ces mesures tonographiques que nous exposerons après avoir, dans une première partie, rappelé brièvement les bases et les critiques de la méthode tonographique, ainsi que les résultats obtenus par les différents auteurs.

P R E M I E R E P A R T I E

LA TONOGRAPHIE : Fondements - Critiques - Résultats

I. RHEOLOGIE DE L'HUMEUR AQUEUSE

Depuis la fin du siècle dernier, de nombreuses théories ont été élaborées pour expliquer l'ophtalmotonus et sa régulation. Le rôle essentiel de l'angle irido-cornéen fut souligné en premier par LEBER (1873) ; l'humeur aqueuse sécrétée au niveau des procès ciliaires est résorbée au niveau de l'angle irido-cornéen à travers le tissu trabéculaire pour rejoindre les plexus veineux intrascléraux et les veines épisclérales par le canal de Schlemm. Bien que séduisante et ayant le mérite de donner une explication physiologique et mécanique aux dérèglements de l'ophtalmotonus, cette théorie fut combattue âprement au début du siècle par de nombreux auteurs. Notamment, MAGITOT (1917) admettait que l'humeur aqueuse n'était qu'un liquide interstitiel stagnant, soumis aux forces de la pression hydrostatique sanguine et de la pression colloïdo-osmotique.

Ce furent les découvertes d'ASCHER (1942) et GOLDMANN (1946) qui mirent un point final aux discussions. Ces deux auteurs, à l'insu l'un de l'autre puisque séparés par les événements de la Deuxième Guerre Mondiale, mirent en évidence, en effet, les veines aqueuses, trait d'union entre les réseaux veineux intrascléraux et les réseaux veineux épiscléraux et conjonctivaux. L'humeur aqueuse est donc en perpétuel mouvement et renouvellement et, de ce fait, soumise à des forces assurant son écoulement.

En 1949, GOLDMANN propose alors d'appliquer à la circulation de l'humeur aqueuse la loi de POISEUILLE qui régit les déplacements des fluides dans les tubes de petit diamètre, assimilant les pores du tissu trabéculaire, le canal de Schlemm, les canaux afférents de celui-ci et les veines aqueuses à des tubes de petit diamètre. Cette loi s'exprime de la façon suivante, dans sa forme simplifiée :

$$F = D = \frac{P}{R}$$

F = D étant le débit par minute d'humeur aqueuse

P étant la pression d'écoulement

R étant la résistance à l'écoulement.

Appliquée à la circulation aqueuse, GOLDMANN obtient la formule rhéologique suivante :

$$F = \frac{Po - Pv}{R}$$

F = débit de l'humeur aqueuse

Po - Pv = pression d'écoulement = différence entre la pression intra-oculaire Po et la pression veineuse épisclérale Pv qui s'oppose à l'écoulement.

$\frac{1}{R}$ = résistance à l'écoulement, fonction du rayon et de la longueur des voies d'excrétion et de la viscosité de l'humeur aqueuse. Dans la littérature anglo-saxonne, $\frac{1}{R}$ est remplacé par le coefficient C qui représente le coefficient de facilité d'écoulement de l'humeur aqueuse, caractérisant l'état de perméabilité du tissu trabéculaire et des canaux excréteurs.

Disposant ainsi d'une formule rhéologique reposant sur des bases mathématiques sûres, de nombreux chercheurs, à commencer par GOLDMANN lui-même, ont mis au point diverses techniques permettant de déterminer les valeurs normales ou pathologiques, dans les différents cas de glaucome, soit du débit F, soit de la facilité d'écoulement C. C'est ainsi que GOLDMANN mesure optiquement la concentration de fluorescéine dans la chambre antérieure après avoir injecté le produit par voie intra-veineuse. Il détermine pendant 2 heures la diminution de concentration du colorant dans la chambre antérieure et aboutit à un débit-minute d'humeur aqueuse de $2,2 \pm 0,37$ mm3/min. dans l'oeil normal alors que chez le glaucomateux la valeur est réduite à $1,67 \pm 0,42$ mm3/min. Cette méthode, ainsi que celles employant le cycle de substances chimiques comme les ascorbates ou les lactates, a l'avantage de s'adresser à un oeil intact laissé à lui-même pendant toute l'épreuve ; elle a cependant l'inconvénient d'être longue et de nécessiter un appareillage spécial important, ce qui la met hors de portée de la pratique clinique courante.

A l'opposé de ces méthodes quantitatives chimiques, des méthodes physiques ont été mises au point pour mesurer le coefficient C à partir des facteurs Po et Pv connus. Nous ne ferons que citer ici la méthode de la ventouse de succion de ROSENGREN (1934) et ERICSON (1956).

Les méthodes de perfusion par canulation de la chambre antérieure d'yeux énucléés, particulièrement employées par ARMALY (1960), BECKER et CONSTANT (1956), FRANCOIS, RABAEY et NEETENS (1956 - 1958), GRANT et TROTTER (1955), KORNBLUTH et LINNER (1955, ne sont intéressantes que comme point de comparaison par rapport aux valeurs de C trouvées par la méthode tonographique, méthode qui retiendra toute notre attention maintenant.

II. LA TONOGRAPHIE DE GRANT

Si la tonographie est née des travaux de GRANT, il convient cependant de citer quelques précurseurs. En effet, la chute de pression qui se produit dans un oeil soumis à une pression externe, a été notée en premier par PAGENSTECHER en 1878. Puis, plus tard, après l'introduction du tonomètre, MAKLAKOFF et SCHIÖTZ constatent la chute de pression qui se produit dans un oeil sur lequel est posé un tonomètre. En 1911, POLLAK VON GELDER utilise l'effet de massage obtenu par le tonomètre pour distinguer les yeux glaucomateux des yeux normaux.

En 1934, BÖCK, STOUGH et KRONFELD étudient cet effet plus systématiquement en appliquant un tonomètre de Schiötz muni du poids de 15 grs pendant deux minutes sur 100 yeux normaux et dans un groupe d'yeux glaucomateux. Ils constatent que dans le groupe d'yeux glaucomateux, la chute de l'ophtalmotonus était bien moindre.

Il fallut attendre 1950 pour que la tonographie apparaisse sous un jour plus précis grâce au travail de MOSES et BRUNO. Profitant d'une part de l'apparition du tonomètre électronique, d'autre part, et surtout, des premiers travaux de FRIEDENWALD permettant de connaître pour chaque poids du tonomètre et chaque position de l'index le volume d'humeur aqueuse déplacé par la dépression cornéenne produite par le pied du tonomètre, ces deux auteurs essayent de déterminer la relation entre la pression tonométrique et le taux d'écoulement de l'humeur aqueuse. Ils appliquent le tonomètre pendant deux minutes sur l'oeil en notant toutes les dix secondes la position de l'index. Connaissant, par les tables de Friedenwald, le volume initial et le volume final dus à l'indentation cornéenne, ils calculent par simple soustraction le volume

d'humeur aqueuse chassée pendant deux minutes. Puis ils comparent ce volume à la moyenne de la pression tonométrique durant l'épreuve. Après avoir fait de nombreuses mesures sur des yeux normaux, glaucomateux et glaucomateux opérés selon une technique fistulisante, ils concluent à l'existence d'une relation linéaire entre le taux d'évacuation de l'humeur aqueuse et les valeurs de la pression tonométrique.

Bien que les travaux de MOSES et BRUNO soient déjà très valables, c'est à GRANT que revient le mérite d'avoir développé et mis au point la tonographie.

En 1950, GRANT établit par des méthodes de perfusion que le taux d'écoulement du liquide perfusé est proportionnel à la pression intraoculaire, c'est-à-dire :

$$F = C.\,P$$

F étant le taux de liquide écoulé, P la pression d'écoulement et C un coefficient qu'il appelle "Coefficient de facilité d'écoulement".

Ensuite GRANT essaya de déterminer la valeur C de l'oeil humain vivant en laissant le tonomètre pendant quatre minutes sur l'oeil. Il calcule C à l'aide de la formule :

$$C = \frac{\triangle V}{\triangle P.t}$$

$\triangle V$ = volume de liquide écoulé

$\triangle P$ = pression d'écoulement

t = temps de l'épreuve, c'est-à-dire quatre minutes.

Analysons de plus près les différents termes qui entrent dans cette formule :

1) $\triangle P$ représente le gradient de surpression qui fait s'écouler un volume d'humeur aqueuse supplémentaire lorsque le tonomètre est posé sur l'oeil. Ce gradient de surpression équivaut à la différence entre Pt, pression tonométrique intraoculaire et Po, pression intraoculaire de l'oeil non touché. Durant les quatre minutes de l'épreuve, la valeur Pt est variable et on calcule sa valeur moyenne en prenant la moyenne de la somme entre la pression tonométrique Pt^1 au début de l'épreuve et la pression tonométrique Pt^2 à la fin de l'épreuve, soit :

$$\frac{Pt^1 + Pt^2}{2} = Pt \text{ moyen}$$

$$P \text{ est donc} = \frac{Pt^1 + Pt^2}{2} - Po$$

2) $\triangle V$ représente le changement volumétrique de l'oeil pendant la tonographie. Ce changement comprend d'une part la modification de volume du globe $\triangle Vs$ sous l'influence du poids du tonomètre, c'est-à-dire le volume d'humeur aqueuse déplacée à l'intérieur de l'oeil, et d'autre part la modification du volume cornéen $\triangle Vc$, c'est-à-dire le volume d'humeur aqueuse chassée hors de l'oeil.

Il n'entre pas dans notre propos ici de développer les théories et les formules établies par FRIEDENWALD pour déterminer chacun de ces volumes. FRIEDENWALD a d'ailleurs établi des tableaux donnant pour chaque poids du tonomètre et chaque position de l'index les valeurs correspondantes de $\triangle Vs$ et $\triangle Vc$. Mais ces valeurs ne sont déterminées que pour la valeur moyenne E = 0,0215 de la rigidité sclérale, coefficient qui caractérise la capacité d'extensibilité des enveloppes oculaires. Nous verrons que c'est là un élément de critique important de la tonographie, puisque d'une part la rigidité sclérale n'est pas la même pour tous les yeux et que d'autre part elle peut être sujette à variation pour le même oeil durant la tonographie.

La formule tonographique de GRANT est donc :

$$C = \frac{\triangle V}{(Pt \text{ moyen} - Po)t} \qquad \triangle V = \triangle Vs + \triangle Vc$$

La validité de cette formule a été beaucoup critiquée, critiques qui ont porté sur chaque terme de l'équation et qui ont été à la base, souvent, d'améliorations de la formule tonographique de GRANT. Celui-ci avait déjà montré en 1950 qu'il existe d'une part une relation linéaire entre $\triangle P.t$ et $\triangle V$, donc que la perte de volume d'humeur aqueuse est bien proportionnelle à l'augmentation de pression multipliée par le temps, et d'autre part qu'il existe une relation linéaire entre $\triangle V.t$ et $\triangle P$ ce qui tend à prouver que l'état d'équilibre de l'oeil, un instant perturbé par la mise en place du tonomètre, tend à se rétablir.

D'autre part, la formule tonographique suppose que :

- il n'y a pas de changement dans le taux de sécrétion de l'humeur aqueuse pendant l'épreuve,
- il n'y a pas de changement du volume sanguin intraoculaire,
- la pression veineuse épisclérale reste la même que dans l'oeil non perturbé,
- la facilité d'écoulement ainsi mesurée est bien conforme à celle qui existe dans l'oeil non perturbé.

Si la théorie ainsi définie a suscité de nombreuses critiques, la méthode d'emploi de la tonographie en pratique clinique ne souffre que peu de discussion . En effet, la tonographie avec le tonomètre de Schiötz a été rapidement délaissée au profit de la tonographie à l'aide du tonomètre électronique de la firme MUELLER et Cie de Chicago. Cet appareil, beaucoup plus sensible, a le grand avantage de pouvoir être relié à un appareil enregistreur qui donne un enregistrement graphique de la déviation de l'aiguille du tonomètre. On supprime ainsi les erreurs dues à la lecture directe. D'autre part, l'examinateur est renseigné exactement sur les fautes commises durant l'épreuve et a une notion exacte de la valeur de l'examen qu'il vient de faire. Il convient ici de citer le tonomètre électronique de la firme SCHWARTZER mis au point par Van BEUNINGEN en 1959, appareil qui n'a été cependant que peu employé jusqu'à présent.

La majorité des auteurs insistent également sur les conditions à remplir pour faire une bonne tonographie : malade tranquillisé et détendu par une mise au repos, allongé, dans une pièce éloignée des bruits, bonne anesthésie des deux cornées, appareils en parfait état de marche.

Par ailleurs, la formule tonographique de GRANT demande pour obtenir la valeur de C de nombreux calculs. Plusieurs auteurs ont alors pensé établir des tableaux donnant directement la valeur de C suivant les lectures de l'échelle du tonomètre pour chaque poids, afin de simplifier le travail. M. GRANT avait donné dès 1950 un tel graphique dans une de ses publications. Puis BALLINTINE (1954) établit des graphiques analogues pour chaque poids du tonomètre et surtout pour les différentes valeurs de la rigidité oculaire. Cependant ces tables furent rapidement périmées puisqu'établies d'après la

calibration de FRIEDENWALD de 1954 ; le même reproche peut être fait aux tables de KÖNIG de 1955. MERTE de son côté établit en 1957 des tables en prenant la moyenne logarithmique de Pt au lieu de la moyenne arithmétique entre Pt^1 et Pt^2. Nous verrons ultérieurement ce qu'il faut penser d'une telle conception. Les seules tables valables à l'heure actuelle sont celles de MOSES et BECKER de 1958, complétées par LEYDHECKER en 1960, pour chaque poids du tonomètre. Elles ne sont cependant valables que pour un oeil dont la rigidité sclérale est normale. C'est ce facteur de rigidité sclérale qui a amené DRAEGER en 1959 a faire de nouvelles tables pour chaque poids du tonomètre et pour les rigidités sclérales suivantes : 0,010 - 0,015 - 0,0215 - 0,025 0,030 - 0,035, la moyenne de deux valeurs de C étant prise pour une valeur de rigidité sclérale intermédiaire entre celles pour lesquelles ont été faits les tableaux.

III. C A U S E S D ' E R R E U R S

Si la tonographie offre un moyen d'exploration clinique séduisant du glaucome, elle doit son succès à sa pratique courante facile. Mais à mesure que différents chercheurs la mettaient à l'étude, apparurent des critiques de plus en plus fortes et de nombreuses causes d'erreurs furent mises en évidence. Chaque terme de l'équation de GRANT fut discuté et les principales causes d'erreurs mises en lumière. Nous rappellerons ici brièvement les divers éléments de critique.

1) Po

Po, la pression intraoculaire existant dans l'oeil juste avant le début de l'épreuve, était naturellement déterminée par GRANT par la première lecture de la déviation de l'aiguille du tonomètre au moment où celui-ci était posé sur l'oeil. GRANT possédait déjà, au moment de ses premières expériences, les tables de calibration de FRIEDENWALD de 1948 donnant pour chaque poids du tonomètre la valeur de Po pour chaque position de l'index du tonomètre. Plus tard furent utilisées les tables de calibration de 1954 et 1955.

Mais on sait que ces tables sont sujettes à caution encore actuellement, surtout pour les positions extrêmes de l'index. D'autre part, il est parfois difficile de déterminer avec exactitude la déviation de l'aiguille du tonomètre. Ces difficultés furent tournées par l'apparition de l'aplanotonomètre que H. GOLDMANN mit au point avec Th. SCHMIDT en 1957. Sans entrer dans les détails, disons simplement que l'aplanotonomètre, en déplaçant un volume liquidien d'humeur aqueuse de 0,44 mm^3 au moment de la mesure, supprime toute mise en jeu de la rigidité sclérale et permet une mesure de la pression oculaire exacte à 2 % près. On peut donc considérer que la pression mesurée à l'aplanotonomètre, Pt apl., est pratiquement égale à Po, pression intraoculaire de l'oeil non perturbé.

Tous les auteurs, à commencer par MOSES et BECKER (1958) préconisent la mesure de Po à l'aplanation, bien qu'il reste un point non élucidé : l'augmentation légère de la pression intraoculaire en position couchée, comme l'a montré GOLDMANN, par rapport à celle existant en position assise, au moment de la mesure à l'aplanotonomètre. Les auteurs ne mentionnent pas s'il faut tenir compte de cette augmentation qui serait de l'ordre de 1,3 mm Hg.

2) Pt

Lorsque l'on pose un tonomètre sur l'oeil, la pression intraoculaire Po s'élève à une valeur Pt, ou pression tonométrique. Lorsque le tonomètre reste en place plusieurs minutes, comme dans la tonographie, une plus grande quantité d'humeur aqueuse va quitter l'oeil sous l'influence de la différence de pression Pt - Po, Pt étant supérieur à Po. Les différentes tables de calibration de FRIEDENWALD donnent la valeur de Pt pour chaque position de l'index : la pression tonométrique peut donc être connue à chaque instant de l'épreuve et on peut ainsi connaître la pression tonométrique moyenne, Pt av, qui a existé durant la tonographie. GRANT, pour le calcul de C, a pris la moyenne arithmétique entre Pt^1, pression tonométrique de départ et Pt^2, pression tonométrique à la fin de l'épreuve. Cependant MERTE (1957) estime que durant la tonographie, Pt diminue plus rapidement au début qu'à la fin de l'épreuve, la mise en jeu des forces de distension des enveloppes oculaires étant moindre à la fin de l'épreuve qu'au début. Il propose donc de prendre, non pas la moyenne arithmétique de Pt qui implique une diminution linéaire

de ce paramètre pendant l'épreuve, mais la moyenne logarithmique qui rendrait mieux compte de l'évolution de la chute de pression. De son côté, STEPANIK (1962) estime que la chute de Pt ne se fait ni linéairement, ni logarithmiquement, mais dans le sens d'une fonction logarithmique retardée, ce qui exige le calcul de la somme des valeurs moyennes de Pt par minute.

Cependant, ces deux suggestions sont demeurées sans écho et l'on en est resté à la moyenne arithmétique $\frac{Pt1 + Pt2}{2}$ dans le calcul de C.

3) Pv

L'application du tonomètre sur l'oeil provoque, considérant la surface totale sur laquelle pèsent les 16 grs du tonomètre, une augmentation de la pression de 7 mm Hg par cm^2. Cette pression entraîne une stase dans le réseau veineux épiscléral. D'autre part, la quantité d'humeur aqueuse, plus importante, quittant l'oeil au moment de la tonographie, peut également entraîner une stase veineuse. Donc, durant la tonographie, la pression veineuse épisclérale augmente d'une valeur $\triangle$ Pv qui s'oppose à la pression d'écoulement Pt. Dès la parution des travaux de GRANT, FRIEDENWALD en avait déjà fait la remarque (1951) et insistait, ainsi que BECKER, sur le fait que l'élévation de la pression veineuse épisclérale durant la tonographie pouvait être une cause d'erreur de la méthode.

On introduisit donc dans la formule de GRANT le facteur correctif $\triangle$ Pv :

$$C = \frac{\triangle V}{(Pt\ m - Po - \triangle Pv)t}$$

LINNER, en 1955, reprend la question et mesure la pression veineuse épisclérale d'yeux normaux et glaucomateux, avec et sans tonomètre, celui-ci étant par ailleurs muni des poids de 5,5 et 10 grs.

Nous reproduisons ici ses résultats :

	Nombre d'yeux	Pv	Po	△ Pv
Yeux normaux avec poids 5,5 grs	30	11,59 ± 0,21	16,0 ± 0,55	1,29 ± 0,13
Yeux glaucomateux avec poids 5,5 grs	20	11,67 ± 0,22	21,45 ± 1,28	1,14 ± 0,11
Yeux glaucomateux avec poids 10 grs	20	11,92 ± 0,34	42,65 ± 2,23	1,32 ± 0,14

TABLEAU I.

De cette étude, il ressort que le tonomètre reposant sur l'oeil entraîne une augmentation de la pression veineuse, petite, mais statistiquement valable, et qui peut être estimée, en moyenne, à 1,25 mm Hg, dans les 3 groupes d'yeux. L'introduction du facteur △ Pv, diminue le dénominateur dans la formule :

$$C = \frac{\triangle V}{(Pt\ m - Po - 1{,}25)t}$$

et entraîne donc une augmentation de C, permettant par conséquent une meilleure différence entre yeux normaux et yeux glaucomateux. Cette correction a été admise par tous les auteurs et les tables tonographiques récentes, notamment celles de MOSES et BECKER, complétées par LEYDHECKER (1960), comportent la correction pour l'élévation de la pression veineuse épisclérale.

4) DEFORMATIONS PARIETALES DU GLOBE

La mise en place d'un tonomètre de Schiötz sur un oeil entraîne d'une part des déformations cornéennes, d'autre part des modifications sclérales. L'oeil, pendant la tonographie, subit donc la conséquence de ces déformations, qui perturbent l'écoulement de l'humeur aqueuse et peuvent donner des résultats erronés. C'est là une des plus importantes critiques de la tonographie de GRANT ; c'est dans ce domaine que de très nombreux auteurs s'attachèrent à déterminer les méthodes pour améliorer la technique et supprimer ces causes d'erreurs.

a) Déformations cornéennes :

M. GRANT, dans ses études, ne tient pas compte de la déformation de la cornée pendant la tonographie. Il assimile la cornée à une simple membrane physique. Cependant le pied du tonomètre, après une ou deux minutes d'application du tonomètre, entraîne un tassement des couches de l'épithélium cornéen. Cette déformation, dénommée "empreinte visqueuse" provoque un enfoncement du piston du tonomètre dans la cornée, plus important, et qui ne correspond pas alors à une élimination d'humeur aqueuse hors de la chambre antérieure. C'est là une cause d'erreur par excès. Pour Van BEUNINGEN, cette erreur serait de l'ordre de 1 à 3 graduations de l'échelle du tonomètre Schiötz, ce qui paraît considérable. Le remède à cette erreur paraît assez simple : il suffit de mesurer l'épaisseur de la cornée avant et après la tonographie et d'introduire un facteur correctif adéquat dans la formule tonographique. Plusieurs appareils de mesure de l'épaisseur de la cornée ont été créés de telle sorte qu'ils peuvent facilement s'adapter à la lampe à fente, mais aucune étude systématique n'en a été faite. Nous verrons cependant comment GOLDMANN, à l'aide d'un moyen simple mais efficace, a pu éliminer ce facteur d'erreur.

b) Modifications sclérales

Les enveloppes oculaires ne sont pas inextensibles, au contraire, et en particulier la sclère possède un certain degré d'élasticité qui la fait se distendre, pour ensuite tendre à revenir à sa forme première, lorsque l'oeil subit une pression externe. Cette faculté de la sclère de se distendre a été mesurée par FRIEDENWALD par des expériences de perfusion sous pression variée. Il a ainsi déterminé un facteur de rigidité sclérale K qui pour l'oeil normal est égal à 0,0215. Les différentes tables de FRIEDENWALD (1950 - 1954 - 1955) donnant les valeurs de $\triangle$ Vs et $\triangle$ Vc servant au calcul de C, ont été déterminées compte tenu de cette valeur normale de K. Mais dès que l'on entre dans le domaine de la tonographie, un certain nombre de questions se pose :

- Comment réagit la sclère pendant la tonographie ?
- Comment entreprendre le calcul de C et interpréter les résultats de la tonographie, lorsque la rigidité sclérale de l'oeil examiné s'écarte de la valeur moyenne déterminée par FRIEDENWALD ?
- La rigidité sclérale reste-t-elle constante pendant la tonographie ?

- Les premiers enregistrements tonographiques, notamment ceux de GRANT, montrèrent des courbes d'allure régulière, la pression tonographique chutant d'une façon constante entre le début et la fin de l'épreuve. Si l'on admet la constance de la facilité d'écoulement tout au long de l'épreuve, la courbe régulière est dans la norme. Mais plusieurs auteurs, notamment LEYDHECKER et LINNER, observèrent que dans de nombreux cas, le tracé tonographique présentait une pente plus forte au début, ou quelques secondes après le début de l'épreuve, que ce phénomène pouvait persister une ou deux minutes et qu'après seulement le tracé tonographique prenait une allure régulièrement et normalement descendante. Cependant de tels tracés étaient reconnus comme rares par GRANT, BECKER et BALLINTINE. BECKER indique même que ce genre de tracés était obtenu par les débutants en tonographie, cette explication n'étant évidemment pas valable. GOLDMANN, le premier, rattacha ce phénomène à celui de réactivité ou "creep" que l'on rencontre lorsqu'on examine le comportement de tissus élastiques soumis à l'action d'une force déformante. En effet, le tissu élastique subit une déformation d'abord rapide, puis plus lente, le retour à l'état normal se produisant dans le même sens lorsque la force déformante cesse d'être appliquée. Pendant la tonographie, sous l'influence du poids de l'appareil, la rigidité sclérale est sollicitée ; elle augmente en fonction de l'augmentation de la pression tonométrique, puis après un temps variable, une, deux ou trois minutes, s'installe un nouvel équilibre élastique caractérisé par une rigidité plus élevée. Mais cet équilibre ne reste pas stable car, le tonomètre restant en place, l'écoulement aqueux entraîne une baisse de la pression tonométrique, donc une baisse de la rigidité oculaire en fonction du temps. Ces phénomènes complexes semblent montrer que la tonographie ne permet pas de connaître la vraie facilité d'écoulement de l'oeil non touché, mais qu'elle n'indique qu'une valeur relative. D'autre part le poids employé avec le tonomètre semble jouer dans ce cas un rôle non négligeable, l'importance du creep n'étant pas la même si l'on emploie le poids de 5,5 grs ou le poids de 10 ou même 15 grs.

Si maintenant le phénomène de "creep" est admis par la majorité des auteurs, ainsi que l'allure parabolique de la courbe du tracé tonographique, courbe qui ne devient linéaire qu'après un certain temps, il devient indispensable d'éliminer l'influence de la rigidité sclérale au début de l'épreuve.

Il suffirait simplement de mesurer la rigidité sclérale à chaque moment de l'épreuve, ce qui n'est malheureusement pas possible. Plusieurs auteurs proposèrent alors d'augmenter le temps de la tonographie et de supprimer la ou les premières minutes, en ne conservant que la partie linéaire du tracé. C'est ainsi que LINNER (1958) et ROBERTS (1957) font des tonographies de cinq minutes, amputées de la première minute et que LEYDHECKER (1958) supprime les trois premières minutes d'une tonographie de sept minutes. Mais dans tous les cas il faut garder pour Po la valeur mesurée à l'aplanation avant l'épreuve. Cependant une telle façon de faire est formellement déconseillée par GRANT et qualifiée "d'arbitraire" par ETIENNE.

- Le phénomène de réactivité, ou "creep", n'est qu'un aspect du problème posé par la rigidité sclérale. Les différentes tables de FRIEDENWALD pour $\triangle$ Vs - $\triangle$ Vc et les tables tonographiques ont été basées sur la valeur de K = 0,0215. Mais de nombreux auteurs insistèrent sur le fait que cette valeur de K ne représentait en fait qu'une valeur moyenne sujette à variation pour chaque cas individuel. En outre, même la valeur moyenne de K = 0,0215 de FRIEDENWALD a été critiquée. GRANT et TROTTER (1955), par des méthodes de perfusion, trouvent un K moyen, sur 29 yeux humains énucléés, égal à 0,0163 avec un maximum de 0,0215 ; un oeil étudié avant et après énucléation pour mélanocancer donnait un résultat semblable dans les deux cas avec 0,0194. GOLDMANN mesure la rigidité sclérale à l'aide du nomogramme de FRIEDENWALD à partir des données fournies par l'aplanation et une mesure au Schiötz avec le poids de 10 grs. Il trouve une valeur moyenne de K = 0,0203. DRAEGER (1960) détermine une valeur moyenne de K = 0,0199 sur 175 yeux normaux, alors que le coefficient de rigidité sclérale était de 0,0144 chez les forts myopes, 0,0220 chez les forts hypermétropes. D'autre part DRAEGER trouve un coefficient de rigidité sclérale diminué par rapport à la moyenne des yeux normaux, K n'étant que de 0,0160. DRANCE (1960), de son côté, à l'aide de l'aplanation et d'une lecture au Schiötz avec le poids de 10 grs, trouve une valeur moyenne de K égale à 0,0235 dans plus de 1 000 yeux normaux, alors que K est égal à 0,0204 dans 77 yeux glaucomateux. En outre, des travaux de GLOSTER et PERKINS (1957), DRAEGER (1960), Mc BAIN (1958) et H. MÜLLER (1960) tendent à prouver que la rigidité sclérale dépend du taux de pression intraoculaire, celle-là diminuant lorsque celle-ci augmente.

On peut cependant reprocher à ces études d'avoir toutes été faites sur des yeux énucléés par perfusion de liquide sous pression croissante, et qu'elles ne traduisent sans doute qu'imparfaitement ce qui se passe réellement dans un oeil non touché soumis à une pression intraoculaire plus forte.

La rigidité sclérale n'est donc pas une valeur constante valable pour tous les yeux, ni, sans doute, constante dans une grande échelle de pression intraoculaire comme le pensait FRIEDENWALD, mais là les éléments décisifs manquent pour pouvoir se faire une juste opinion. La détermination de la rigidité sclérale de l'oeil que l'on va tonographier s'impose donc avant l'épreuve.

GOLDMANN, grâce à l'aplanotonomètre qui donne une valeur pratiquement exacte de la pression intraoculaire régnant dans l'oeil non touché (puisqu'elle ne s'en écarte au maximum que de 1 à 2 %), propose de reporter sur le nomogramme de FRIEDENWALD 1955, la valeur Po trouvée à l'aplanation et une valeur Pt mesurée à l'aide du tonomètre de Schiötz muni du poids de 10 grs, et de déterminer le K de l'oeil examiné, en tirant une droite par le point O de rencontre des axes de coordonnées du nomogramme, parallèle à la droite unissant le point Po sur l'ordonnée au Point Pt. En 1958, MOSES et BECKER préconisent une méthode graphique pour le calcul de C dans laquelle ils calculent $\triangle$ Vs, $\triangle$ Vc directement sur le nomogramme de FRIEDENWALD à partir de Pt^1, Pt^2 et Po, en tenant compte de la rigidité sclérale K déterminée, à partir du même nomogramme, avec la méthode de GOLDMANN. Cette méthode donne donc directement C, en fonction de K. Il n'entre pas dans notre propos d'exposer en détail cette méthode fort bien exposée par OURGAUD et ETIENNE dans le premier tome du rapport à la Société française d'Ophtalmologie consacré à l'exploration fonctionnelle de l'oeil glaucomateux, en 1961. Dans le même article où est exposée la méthode graphique, MOSES et BECKER exposent également une méthode tabulaire pour le calcul de C :

$$C = \frac{0{,}0215 \triangle Vg + (E - 0{,}0215) \triangle Vc}{4\,E(Pt\ av. - Po\ corr. - 1{,}25)}$$

Où : $\triangle$ Vg = changement de volume oculaire d'après GRANT,

E = coefficient de rigidité sclérale, tel qu'on le détermine en utilisant le nomogramme de FRIEDENWALD,

$\triangle$ Vc = changement dû à la dépression cornéenne pendant la tonographie,
Pt av. = moyenne de la pression tonométrique,
Po corr. = pression oculaire de l'oeil non touché, estimée par l'aplanation.

Plus commode est évidemment l'emploi des tables de DRAEGER. Cet auteur a publié en 1959 toute une série de tables donnant la valeur de C en fonction de la déviation de l'index tonométrique, pour les poids de 5,5, 7,5 et 10 grs et pour les rigidités sclérales : 0,010 - 0,015 - 0,0215 - 0,025 - 0,030 - 0,035, pour une tonographie de quatre minutes.

- L'équation de GRANT suppose que la rigidité sclérale ne subit pas de modification pendant la tonographie. Pour répondre à cette question, STEPANIK (1957) mesure le coefficient de rigidité sclérale de 100 yeux, en partie normaux et en partie glaucomateux, quinze minutes avant, immédiatement après et cinq minutes après une tonographie de quatre minutes. Il n'observe pas de modification de la rigidité sclérale, les chiffres moyens obtenus étant : 0,026 - 0,025 et 0,026. ROGERS et ROBERTS (1961) aboutissent à la même conclusion sur les résultats d'une étude similaire.

5) INFLUENCE DU POIDS EMPLOYE

Le poids surchargeant le tonomètre lors de la tonographie semble également jouer un rôle quant à l'interprétation des résultats de la tonographie. H. GOLDMANN (1955) signale le premier que la facilité d'écoulement paraît meilleure avec les poids faibles (5,5 grs et 7,5 grs) qu'avec les poids plus lourds (10 grs et 15 grs), et que la dispersion des valeurs de C est moins grande avec le poids de 15 grs qu'avec le poids de 5,5 grs. GOLDMANN explique ce fait, soit comme une conséquence de l'imprécision des courbes de calibration du tonomètre, la courbe du poids 5,5 grs étant la plus valable, soit parce que le phénomène de réactivité est moins important avec les poids lourds, l'équilibre étant plus rapidement atteint. D'autre part GOLDMANN trouve une meilleure concordance entre les résultats trouvés par la méthode fluorométrique et la tonographie, avec le poids de 15 grs, qu'avec les autres poids plus légers.

WIRTH (1956), de son côté, en faisant des tonographies avec les poids de 5,5, 7,5 et 10 grs, trouve que C est plus sensible aux variations de K avec le poids de 5,5 grs alors que c'est le contraire avec le poids de 10 grs et que la valeur de C est inférieure d'au moins 50 % si la tonographie est faite avec le poids de 5,5 grs au lieu du poids de 10 grs.

On peut cependant opposer à GOLDMANN que ses travaux ont été effectués à l'aide des tables de calibration de 1954, et que les valeurs de C obtenus avec les tables de 1955 sont beaucoup plus voisines pour les différents poids. D'autre part GOLDMANN n'a pas inclus dans ses calculs la correction pour l'augmentation de la pression veineuse épisclérale qui augmente la séparation entre valeurs normales et pathologiques de C. FRIEDENWALD de son côté (1955) signale qu'il n'a jamais vu de phénomène de "creep" lorsque les pressions tonométriques sont inférieures à 60 mm Hg (correspondant à un poids sur le tonomètre de 15 grs), et GRANT préconise de perturber le moins possible les conditions d'équilibre de l'oeil en préférant l'emploi des poids légers qui donnent la moins haute pression tonométrique. De plus, WEEKERS, WATILLON, de RUDDER tonographiant 85 sujets divisés en trois groupes, avec un poids tonométrique différent pour chaque groupe, ne trouvent pas de modifications très importantes pour la valeur R . DRANCE et CARR (1961) de leur côté, reprenant les travaux de WIRTH, ne trouvent pas de différence significative entre les différents résultats et suggèrent que la mesure de C n'est pas influencée par le poids du tonomètre que l'on emploie, pour peu que la rigidité sclérale ait été correctement déterminée.

6) AGE DU MALADE

L'âge du malade semble également jouer un rôle dans la détermination de la facilité d'écoulement. Ce phénomène a été principalement étudié sur des yeux normaux. Les premières investigations faites par SPENCER, HELMICK et SCHEIE (1955) montrèrent cependant que la facilité d'écoulement n'était pas influencée par l'âge du patient. En effet, ces auteurs font 20 tonographies pour chaque décade d'âge entre 11 et 70 ans et 20 tonographies pour le groupe 70 à 90 ans. La moyenne de C pour les patients de plus de 50 ans est de 0,21 avec un débit F de 1,36 et pour les patients de moins de

50 ans, C = 0,23 et F = 1,64. La différence n'est pas significative pour les auteurs. BOLES-CARENINI et CAMBIAGGI (1957) ne trouvent pas non plus de différence significative pour C suivant l'âge, de même que LINNER (1958)

Cependant d'autres études montrent des résultats diamétralement opposés. GOLDMANN en 1951 avait déjà noté une augmentation de la résistance à l'écoulement avec l'âge du patient, mais non par la tonographie, puisque ses études ont été faites avec sa méthode fluorométrique. WEEKERS, WATILLON et de RUDDER (1956), sur 85 tonographies réparties en trois groupes d'âge, trouvent une augmentation nette de R avec l'âge : R étant égal à 3,68 en-dessous de 35 ans, 3,95 entre 35 et 55 ans et 4,43 au dessus de 55 ans.

BECKER en 1958 reprend la question sur une plus grande échelle et fait 909 tonographies d'yeux normaux, en employant la calibration de FRIEDENWALD de 1955 avec correction de l'augmentation de la pression veineuse épisclérale, et en admettant Pv = 10 mm Hg pour le calcul du débit F.

Nous reproduisons ici ses résultats :

Age	Nombre d'yeux	Po mm Hg	C	F
$\langle$ 40 ans	244	16,1 $\pm$ 2,7	0,331 $\pm$ 0,067	2,02 $\pm$ 0,82
41 à 60 ans	347	16,9 $\pm$ 2,6	0,276 $\pm$ 0,047	1,91 $\pm$ 0,73
$\rangle$ 60 ans	318	15,2 $\pm$ 3	0,233 $\pm$ 0,046	1,21 $\pm$ 0,60

TABLEAU II.

Il y a donc une nette diminution de la valeur de la facilité d'écoulement au cours du vieillissement, et ceci d'une façon significative, ainsi qu'une diminution du débit sécrétoire qui semble équilibrer l'augmentation de la résistance à l'écoulement.

Comment expliquer un tel état de choses ? Plusieurs hypothèses peuvent être formulées.

- Il ne semble pas que cela soit dû à une augmentation de la rigidité sclérale avec l'âge, les résultats de GOLDMANN avec la méthode fluorométrique, qui ne fait pas intervenir la rigidité sclérale, étant en concordance avec ceux de BECKER.

- S'agit-il d'une diminution de la profondeur de la chambre antérieure ? Nous verrons au paragraphe suivant que certains auteurs pensent qu'une diminution de la profondeur de la chambre antérieure peut entraîner une diminution de la facilité d'écoulement, et l'on sait que chez un individu âgé, la chambre antérieure est moins profonde que chez un sujet jeune (TÖRNQUIST 1956). Cependant, il ne semble pas que ce soit là un facteur suffisant pour expliquer la diminution de C.

- Il semble également que les modifications de la taille des pores trabéculaires, dans le sens d'une diminution du calibre au cours du vieillissement, jouent un rôle important.

7) PROFONDEUR DE LA CHAMBRE ANTERIEURE

BARANY et WOOCLIN (1955) trouvent une relation linéaire entre la valeur de C et le volume V de la chambre antérieure sur des yeux de lapin énucléés et perfusés. BECKER et CONSTANT (1956) aboutissent à la même conclusion en perfusant des yeux d'espèces différentes (lapin - chat - cobaye) et observent de plus une diminution de la facilité d'écoulement en rapport avec une diminution de la profondeur de la C.A. FRANCOIS, RABAEY et NEETENS provoquent une réduction du volume de la moitié postérieure du globe et modifient ainsi le volume de la chambre antérieure en poussant iris et cristallin en avant. Ils démontrent que la résistance R croît fortement avec la diminution de la profondeur de la chambre antérieure.

On peut penser d'autre part, que cette diminution de la profondeur de la chambre antérieure, habituelle chez l'individu âgé, peut expliquer en partie la diminution de la facilité d'écoulement que l'on rencontre chez les gens âgés.

8) VOLUME SANGUIN OCULAIRE

Si BAILLIART (1931), et de nombreux auteurs avant lui, estimait que toute compression de l'oeil entraînait une chasse sanguine hors de l'oeil, expliquant ainsi le déplacement de l'index du tonomètre, au contraire, l'équation tonographique de GRANT présuppose qu'un tel facteur n'intervient pas pour expliquer les phénomènes observés durant la tonographie. Pour GRANT, s'il y a un départ de sang hors de l'oeil pendant la tonographie, ce ne peut être que minime, et ne joue pas de rôle dans l'appréciation des résultats. Il en donne comme preuve, d'une part le fait que C déterminé tonographiquement in vivo ne varie guère de C déterminé par perfusion d'yeux énuclés, où évidemment le facteur vasculaire ne joue plus, d'autre part, C déterminé in vivo sur le même oeil, n'est pas différent avec les poids lourds par rapport aux poids légers.

En 1958, une étude plus directe est venue confirmer l'hypothèse de GRANT. En effet, BETTMANN, FELLOWS, CHAO et JOHNSON tonographient des yeux de chats, dont les caractéristiques vasculaires sont très proches de celles de l'homme, après avoir injecté dans la circulation sanguine des globules rouges marqués au P^{32}. Par mesure avec un compteur de GEIGER placé au contact de l'oeil, ils constatent que très peu de globules rouges (le taux de radioactivité ne diminuant pratiquement pas) quittent l'oeil durant la tonographie, que celle-ci soit faite avec les poids de 5,5 grs, 7,5 grs, 10 grs ou 15 grs. La modification du volume sanguin la plus accusée survient pour une compression de l'ordre de 50 à 70 mm Hg. Seul le poids de 15 grs permet d'atteindre une pression de 50 mm Hg. Donc il n'y a pas de modifications circulatoires importantes pendant la tonographie avec les poids utilisés habituellement et il semble que l'on puisse transposer ces résultats, obtenus sur des yeux de chats, à l'homme. Cependant tous les auteurs ne sont pas de cet avis et notamment GOLDMANN (1957) pense que durant la première minute de la tonographie, les modifications de la rigidité sclérale et celles du contenu sanguin oculaire s'ajoutent pour donner une pression intraoculaire trop élevée, modifiant les résultats. Il propose dans ce but de supprimer la première minute de la courbe, l'oeil retrouvant après cela un état d'équilibre.

Cependant, le volume sanguin oculaire joue un rôle dans la tonographie d'une manière indirecte. En effet, de nombreuses modifications d'ordre circulatoire sont susceptibles de modifier la pression oculaire, donc de fausser les résultats. Il en est ainsi de l'augmentation de la pression veineuse épisclérale par thrombose ou compression des veines jugulaires, de l'augmentation de la tension artérielle par ligature de la carotide (ADLER, LANDIS et JACKSON) qui augmente la pression oculaire de 7 mm Hg, de l'augmentation de la pression artérielle diastolique, engendrée par la réaction émotive du sujet à l'épreuve, entraînant une augmentation de la pression intraoculaire également, C estimé dans ces conditions étant trop grand. Il faut donc compter avec la réaction émotive du sujet et ne commencer la tonographie qu'en présence d'une malade calme, détendu et sans appréhension.

9) HOMEOSTASIE ET DEBIT SECRETOIRE

Les différentes techniques, tonographie, perfusion in vitro et in vivo, méthode fluorométrique, semblent indiquer l'existence de mécanismes homéostasiques qui ont pour but de maintenir un certain taux de pression dans l'oeil. Nous n'entrerons pas dans le détail des différentes expériences qui ont été faites, ce qui nous éloignerait trop de notre sujet, mais nous nous contenterons de signaler les différents faits qui ont été mis en évidence : lorsque la pression oculaire s'abaisse sous l'effet d'une diminution du débit, la résistance à l'écoulement augmente pour maintenir la pression intraoculaire à un niveau normal. D'autre part l'oeil peut réagir à une augmentation de la pression oculaire par une diminution du débit sécrétoire (WEEKERS et PRIJOT). Enfin, une forte hypertonie oculaire peut entraîner une augmentation de la résistance à l'écoulement. Il n'y a alors plus de phénomène régulateur.

On peut aussi se demander si le débit sécrétoire du corps ciliaire ne se modifie pas pendant la tonographie, ce qui donnerait évidemment une fausse estimation de C. Il semble bien qu'il n'en est rien. En effet, GRANT avait montré, au début de la tonographie, la bonne concordance existant entre les résultats tonographiques et les valeurs calculées par perfusion, qui, elle,

ne fait pas intervenir les mécanismes physiologiques de la sécrétion, l'oeil étant énucléé. BECKER trouve également une bonne concordance entre tonographie (C = 0,33) et perfusion in vivo (C = 0,34) sur des yeux de lapin. On retrouve cette concordance entre les résultats tonographiques et ceux obtenus par la méthode fluorométrique de GOLDMANN. On peut ainsi conclure raisonnablement que la tonographie ne modifie pas d'une manière sensible le débit ciliaire d'humeur aqueuse.

IV. MODIFICATIONS APPORTEES A LA METHODE

Nous venons de passer en revue succintement, après avoir exposé la méthode originale de GRANT, les différents facteurs qui peuvent intervenir pour perturber la tonographie et donner des résultats erronés. Toutes ces critiques ont servi de base à différents auteurs pour essayer de perfectionner la méthode afin de la rendre plus exacte et plus valable. Nous ne reviendrons pas sur l'amputation de la première minute (LINNER) ou des trois premières minutes (LEYDHECKER) du tracé tonographique afin d'éviter les réactions de la rigidité sclérale, et nous exposerons :

- La tonographie selon GOLDMANN
- La tonographie selon PRIJOT
- La tonographie sous pression constante
- et l'introduction d'un nouveau rapport Po/C, qui n'est pas une modification de la méthode en soi, mais un moyen détourné pour rendre la tonographie plus sensible.

1) TONOGRAPHIE DE GOLDMANN

Après avoir mesuré la pression oculaire à l'aplanotonomètre, la tonographie est faite à l'aide d'un tonomètre de Schiötz chargé d'un poids tel que la déviation de l'index soit de 5 à 7 graduations. Après quatre minutes trente secondes ou cinq minutes trente secondes, on place sur le tonomètre le poids suivant en laissant l'appareil sur l'oeil.

D'autre part, à la quatre-vingt-dixième seconde et à la huitième minute, on demande au patient de fixer un court instant une deuxième lampe située à 11 cm du poids de fixation habituel, la position de l'index étant soigneusement noté à ces deux moments. Les tables tonométriques utilisées sont celles de Mc BAIN.

Le calcul de la résistance se fait de la façon suivante :

- d'une part, la pression tonométrique moyenne Ptm est égale à la somme des pressions tonométriques avec le premier poids et le deuxième poids, soit :

$\frac{Pt^1 + Pt^2}{2} \times ta$, ta étant le temps durant lequel la pression tonométrique est passée de Pt^1 à Pt^2, le tonomètre étant chargé du premier poids.

$\frac{Pt'1 + Pt'2}{2} \times tb$, tb étant le temps durant lequel la pression tonométrique est passée de Pt'1 à Pt'2, le tonomètre ayant été surchargé avec le deuxième poids.

$$\text{donc Ptm par unité de temps} = \frac{\frac{Pt^1 + Pt^2}{2} \times ta + \frac{Pt'1 + Pt'2}{2} \times tb}{t}$$

t étant égal à ta + tb

- d'autre part, le volume $\triangle$ V déplacé est réduit uniquement à un volume de dépression cornéenne $\triangle$ Vc, l'influence de la rigidité sclérale ayant été éliminée par la pression tonométrique presque constante.

$$R \text{ est alors} = \frac{\triangle Vc}{(Ptm - Po)t}$$

Cette méthode permet à GOLDMANN d'éliminer un certain nombre d'erreurs :

. la déformation plastique de la sclère ou "creep", en éliminant les quatre-vingt-dix premières secondes.

. l'effet de l'empreinte cornéenne du pied du tonomètre par le déplacement du point de fixation à la quatre-vingt-dixième seconde et à la huitième minute.

. l'influence de la rigidité sclérale, car après quatre minutes trente secondes ou cinq minutes trente secondes, on met un poids tonométrique plus fort, permettant d'enregistrer deux fois la même chute de pression.

2) TONOGRAPHIE DE PRIJOT

PRIJOT en 1960 met au point une méthode personnelle basée sur les remarques suivantes, après de nombreuses mesures tonométriques.

- Le coefficient K de FRIEDENWALD, égal à 0,0215 est trop élevé et varie avec l'ophtalmotonus, donc ne peut exprimer correctement la relation volume/pression de l'oeil humain.

- Le volume du liquide déplacé par le tonomètre de Schiötz est sans doute plus élevé que celui indiqué par les tables de FRIEDENWALD.

- La calibration de Mc BAIN (1957) est plus exacte que les tables de FRIEDENWALD pour la détermination des valeurs de Pt.

PRIJOT détermine ainsi un nouveau coefficient de rigidité sclérale A

$$A = \frac{PO1^{0,1} - PO2^{0,1}}{V}$$ où PO1 = pression oculaire initiale, PO2 = pression oculaire finale, V = changement de volume du globe

et un nouveau nomogramme personnel pour la détermination de A.

D'autre part $V = \frac{PO1^{0,1} - PO2^{0,1}}{A}$

PRIJOT calcule la résistance à l'écoulement :

$$R = \frac{\frac{Pt1 + Pt2}{2} - PO1}{\frac{PO1^{0,1} - PO2^{0,2}}{A.\ t}}$$

Bien que PRIJOT pense que cette façon de calculer R soit plus exacte que par la formule de GRANT, il avoue lui-même que la dispersion relative des résultats n'est pas moindre qu'avec la formule de GRANT et que, par conséquent, la valeur diagnostique n'est pas meilleure.

3) ISOTONOGRAPHIE

Eliminer le facteur de rigidité sclérale au cours de la tonographie, tel est le but de l'isotonographie. Pour que la rigidité ne joue aucun rôle, il faut que la distension sclérale soit la même au début et à la fin de la tonographie. Pour ce faire, différents moyens ont été employés :

- MOSES (1958), fait couler goutte à goutte du mercure dans une cupule placée au sommet du pied du tonomètre, en quantité suffisante pour que Pt se maintienne à un niveau constant. Ses résultats ne furent pas parfaits, et notamment la dispersion des valeurs était tout aussi importante qu'avec la méthode de GRANT.

- Nous avons vu plus haut, en décrivant la méthode de GOLDMANN (1958), que l'auteur, après quatre minutes trente ou cinq minutes, ajoute un poids supplémentaire à l'appareil de Schiötz et attend que la pression tonométrique, avec le nouveau poids, atteigne la pression tonométrique initiale Pt, pour terminer l'épreuve. Cette tonographie semble isotonique si l'on utilise les calibrations tonométriques de FRIEDENWALD, mais elle ne l'est pas en réalité si l'on utilise les tables plus exactes de Mc. BAIN, la valeur de Pt^2 final étant en réalité plus basse que celle de Pt^1 initial.

- STEPANIK (1962) de son côté, exerce pendant la durée de la tonographie une pression digitale sur le globe de telle manière que l'aiguille reste sur la même graduation de l'échelle. Pt est donc constant. A la fin de l'épreuve, il relâche la compression, et l'aiguille dévie sur une nouvelle graduation, donnant Ptn et Vcn. Il calcule alors C à l'aide de la formule :

$$C = \frac{1/E\ (\log Pto - Ptn) + Vcn - Vco}{(Pt - Px)\ .t}$$

Cependant, sur 25 enregistrements, il n'obtient pas de différence statistiquement valable par rapport aux résultats obtenus tonographiquement sur les mêmes yeux.

- PRIJOT (1961), de son côté, estime que pour obtenir une méthode isotonique, il faut ajouter un poids de 250 mgrs toutes les trois secondes,

à la fin des quatres minutes d'une tonographie classique, jusqu'à ce que soit atteinte la pression tonométrique initiale. Là non plus, la valeur diagnostique n'est pas supérieure à celle obtenue par la tonographie classique. PRIJOT, en effet, cite 20 cas de glaucome à angle ouvert, où R est augmentée 16 fois avec l'isotonographie, contre 14 fois pour la tonographie classique.

4) RAPPORT Po/C

Un des reproches majeurs que l'on a souvent faits à la tonographie, est de donner des résultats trop inconstants, c'est-à-dire une dispersion trop grande des résultats. En effet, en examinant les différents résultats trouvés depuis que la tonographie existe, on remarque que très souvent les yeux normaux ont des valeurs de C qui se trouvent dans le domaine du pathologique, et vice-versa, et qu'on ne peut établir une démarcation nette entre valeurs normales et valeurs pathologiques. LEYDHECKER (1958) estime que dans les yeux glaucomateux, le fait de mettre en relation deux valeurs pathologiques, c'est-à-dire Po et C, doit augmenter l'écart entre valeurs normales et valeurs pathologiques. Il détermine ainsi un nouveau rapport Po/C, qu'il appelle "valeur d'écoulement".

Ses premières mesures montrèrent 92 % de valeurs pathologiques du rapport Po/C sur 100 yeux glaucomateux pour une tonographie de sept minutes, après amputation des trois premières minutes. A la même époque, BECKER, après avoir préconisé un moment le rapport C/Po, adopte également Po/C et estime que la fréquence diagnostique, à l'aide de ce moyen, se trouve augmentée de 36 à 71 % . Il s'agit en somme, non d'une nouvelle méthode tonographique, mais d'un artifice destiné à améliorer la dispersion des résultats. En quelque sorte "la tonométrie vient au secours de la tonographie" (OURGAUD et ETIENNE) et pour GOLDMANN, c'est actuellement le meilleur test que l'on possède dans le dépistage du glaucome.

Un pas supplémentaire a encore été franchi en associant l'épreuve à l'eau à la tonographie (BECKER) et surtout en calculant le rapport Po/C d'une tonographie faite, en moyenne, trente minutes après ingestion d'un litre d'eau. Pour BECKER, 97 % des yeux glaucomateux ont un rapport Po/C

pathologique après épreuve à l'eau (contre 65 % par la simple tonographie et 40 % par la seule tonométrie). D'autres auteurs comme ROBERTS ont d'ailleurs confirmé ces bons résultats.

V. RESULTATS TONOGRAPHIQUES

Depuis 1950 jusqu'à maintenant, de nombreux auteurs firent des tonographies systématiques, tant chez des individus normaux, que glaucomateux, pour déterminer d'une part les valeurs moyennes normales et pathologiques et, d'autre part, pour déterminer les valeurs extrêmes dans lesquelles sont comprises soit les valeurs normales de C, soit les valeurs pathologiques.

- Les premiers résultats, entre 1950 et 1955, ont été établis à l'aide de la calibration de FRIEDENWALD de 1954, date de sa parution. A cette époque également, n'étaient pas intervenues d'une part la correction pour l'augmentation de pression veineuse ($\triangle$ Pv) ni, d'autre part, les modifications du temps de la tonographie (amputation de la première ou des trois premières minutes du tracé).

- En 1950, les premiers résultats de GRANT indiquent, sur 34 yeux normaux, une valeur moyenne de C = 0,243 avec un écart entre les valeurs extrêmes allant de 0,15 à 0,34. En 1951, sur 118 normaux, GRANT trouve un C moyen égal à 0,22, les valeurs s'échelonnant de 0,11 à 0,44.

- En 1951, GOLDMANN trouve un C moyen de 0,33 et PRIJOT et WEEKERS, sur 20 yeux, une dispersion des valeurs de C entre 0,11 et 0,23. En 1952, les mêmes auteurs, sur 46 yeux normaux, trouvent un C moyen de 0,22, avec une dispersion de 0,16 à 0,33.

- De leur côté , de ROETTH et KNIGHTON, sur 140 yeux, déterminent un C moyen de 0,244, avec une dispersion de 0,10 à 0,52. KRONFELD (1952) trouve un C moyen de 0,24, dans 40 yeux normaux, avec une dispersion de 0,14 à 0,44. D'autre part, il estimait que la valeur de C ainsi déterminée pour un même oeil, était exacte à plus ou moins 25.%, ayant trouvé ce pourcentage

de variation dans la valeur de C pour 3 tonographies pratiquées sur le même oeil. Ce résultat est d'ailleurs en bon accord avec MOSES et BRUNO (1950) qui estiment la détermination de C exacte à $\pm$ 30 %.

- MANSHEIM (1953) trouve C moyen égal à 0,23 avec une dispersion de 0,15 à 0,32, pour 40 yeux normaux et STEPANIK (1953) un C moyen de 0,22, avec dispersion de 0,10 à 0,36 (30 yeux).

- En 1955, SPENCER, SCHEIE et HELMICK, sur 140 yeux, trouvent un C moyen de 0,22, avec une dispersion de 0,11 à 0,42, mais estiment que l'appréciation des résultats est meilleure que ne le pensait KRONFELD, puisque dans leur étude 94 % des yeux normaux ont un C supérieur à 0,16 et que la variation de C pour le même oeil est de l'ordre de $\pm$ 0,045 (19 %).

- De son côté, GRANT en 1955 reprend une étude de sa tonographie sur 171 yeux et trouve un C moyen de 0,23.

- En 1955, paraissent les nouvelles tables de calibration de FRIEDENWALD, différentes des précédentes. Les valeurs de C déterminées antérieurement, alors que C moyen était pour tous les auteurs entre 0,22 et 0,24, n'étaient plus valables et se sont trouvées, dans les nouvelles déterminations, majorées d'environ 30 %.

- En 1956, WEEKERS trouve un C moyen de 0,25 (dispersion 0,14 à 0,48) et BECKERS de 0,31 sur 175 yeux. De leur côté, OURGAUD, ETIENNE et VOLA (1958) déterminent un C moyen de 0,25 avec une dispersion de 0,15 à 0,54.

- LEYDHECKER (1958) pratique une tonographie de quatre minutes sur 100 yeux normaux. Il trouve une valeur moyenne de 0,28, σ étant égal à $\pm$ 0,071 et il estime que C inférieur à 0,14 est probablement pathologiquo ($M - 2\sigma$) et C inférieur à 0,07 ($M - 3\sigma$) comme sûrement pathologique. D'autre part, considérant qu'au bout de trois minutes, les modifications sclérales n'entrent plus en ligne de compte, il propose de faire la tonographie en sept minutes et d'amputer les trois premières minutes. Il trouve un C moyen (3 à 7 minutes) égal à 0,17cm min. mmHg ($\sigma = \pm$ 0,041), C inférieur à 0,09 est probablement pathologique alors que C inférieur à

0,05 est sûrement pathologique. D'autre part, il estime que de cette façon, la sûreté de la méthode passe de 21 à 51 % en appliquant ces critères à des yeux suspects de glaucome (51 % de tonographies pathologiques pour la période trois à sept minutes contre 21 % pour la période 0 à 4 minutes).

- Pour MERTE (1958) C moyen est égal à 0,20 et une valeur supérieure à 0,14 est sûrement normale et pour LINNER C moyen est égal à 0,19. SOETEREN (1960) détermine un C moyen de 0,25 $\pm$ 0,108 sur 70 yeux.

- En 1961, PRIJOT détermine C chez 339 sujets normaux, âgés de 15 à 90 ans. C moyen est égal à 0,28 avec une dispersion de 0,06 à 0,50. 99 % des sujets normaux entrent dans ces limites. Cependant, il découvre que, si R (donc 1/C) ne se distribue pas selon une distribution conforme à la loi de GAUSS, ce que d'autres auteurs avaient déjà montré, le log. R, au contraire, se distribue normalement. A partir de la distribution de log. R, il détermine une nouvelle valeur moyenne C égal 0,26 et la dispersion n'est plus que 0,12 à 0,57 .

- Enfin BECKER (1961),sur 900 yeux normaux,trouve C moyen égal à 0,28 et que seul 0,15 % d'une population normale ont un C inférieur à 0,13 ; FRONIMOPOULOS, COFINAS et LAMBROU (1961) déterminent C moyen égal à 0,27, avec une dispersion de $\pm$ 0,07 sur 606 yeux normaux et LAWRENCE (1962) un C moyen égal à 0,28, avec une dispersion de 0,08 à 0,50 sur 250 yeux.

Année	Auteurs	Nombre d'yeux	C moyen	Dispersion
1950	GRANT	34	0,243	0,15 à 0,34
1951	GRANT	118	0,22	0,11 à 0,44
1951	PRIJOT et WEEKERS	20	-	0,11 à 0,23
1952	PRIJOT et WEEKERS	46	0,22	0,14 à 0,34
1952	de ROETTH et KNIGHTON	140	0,244	0,10 à 0,52
1952	KRONFELD	40	0,24	0,14 à 0,44
1953	MANSHEIM	40	0,23	0,15 à 0,32
1953	STEPANIK	30	0,22	0,10 à 0,36
1955	SPENCER, SCHEIE et HELMICK	140	0,22	0,11 à 0,42
1955	GRANT	171	0,23	
1956	WEEKERS		0,25	0,14 à 0,48
1956	BECKER	175	0,33	0,20 à 0,60
1958	OURGAUD, ETIENNE et VOLA	30	0,25	0,15 à 0,54
1958	LEYDHECKER	100	0,28	$\sigma = \pm 0,071$
	LEYDHECKER 3 à 7min.	100	0,17	$\sigma = \pm 0,041$
1958	MERTE		0,20	
1958	LINNER		0,19	
1960	SOETEREN		0,25	$\sigma = \pm 0,06$
1961	PRIJOT	339	0,26	0,12 à 0,57
1961	BECKER	900	0,28	0,13
1961	FRONIMOPOULOS	606	0,27	$\pm$ 0,07
1961	LAWRENCE	250	0,28	0,08 à 0,50

TABLEAU III.

Principales valeurs de C moyen et dispersion pour les yeux normaux, depuis 1951

Avec les nouvelles tables de FRIEDENWALD (1955) et les différentes corrections (telle que $\triangle$ Pv), la moyenne de C se situe pour les différents auteurs entre 0,25 et 0,28, avec une dispersion assez grande. Seul LEYDHECKER trouve une valeur plus basse (0,17) mais en supprimant les trois premières minutes de la tonographie. Il est aussi le seul à donner une base statistique solide, avec des critères rigoureux, pour les cas suspects ou sûrement pathologiques.

Nous reproduisons dans le Tableau III les différents résultats enregistrés depuis 1951.

La diversité des valeurs moyennes de C, et surtout la dispersion des valeurs donnant C moyen, se retrouvent lorsque l'on étudie les valeurs pathologiques de C. Nous ne citerons que les valeurs moyennes de C, les plus importantes, dans l'oeil atteint de glaucome chronique simple, dans le Tableau IV.

Année	Auteurs	Nombre d'yeux	C moyen	Dispersion
1952	KRONFELD	34	0,09	0,02 à 0,18
1952	de ROETTH et KNIGHTON	48	0,101	
1953	WEEKERS et PRIJOT	66	0,08	
1954	GRANT		0,08	
1956	SCHEIE	162	0,121	0 à 0,30
1956	OURGAUD et ETIENNE	40	0,14	0,03 à 0,28
1956	BECKER	188	0,17	0 à 0,39
1958	LINNER		0,10	

TABLEAU IV.

Principales valeurs de C moyen et dispersion
dans les cas de glaucome chronique simple

En comparant les valeurs moyennes de C, on constate une nette différence entre C moyen normal et C moyen glaucomateux. Malheureusement, le point faible de la méthode réside dans la grande dispersion des valeurs qui servent à déterminer le C moyen dans chaque catégorie. Il existe une grande marge entre valeurs de C sûrement pathologiques et les valeurs sûrement normales. On peut alors se demander comment faire le diagnostic à coup sur ? Quelle est la valeur de C en-dessous de laquelle il n'y a pas d'yeux normaux ? Pour SCHEIE et collab., 94 % des yeux normaux ont un C supérieur à 0,16, et 0,12 est un chiffre sûrement pathologique. Mais ces données furent mises en évidence avec la calibration de FRIEDENWALD de 1954. BECKER et CHRISTENSEN (1956) trouvent que, sur 188 yeux glaucomateux et 175 yeux normaux, C moyen glaucomateux est égal à 0,17, qu'en-dessous d'une valeur de 0,09, il n'y a pas d'oeil normal et que 1 % d'yeux normaux ont un C inférieur à 0,15. De cette façon, on ne peut faire le diagnostic de glaucome que dans 36 % des cas. LEYDHECKER trouve des résultats comparables, la valeur sûrement pathologique étant inférieure à 0,07, ce qui donne,sur 100 cas d'yeux glaucomateux, 20 % de diagnostic.

Cependant, en faisant une tonographie de sept minutes avec amputation des trois premières minutes, il obtient, en considérant C inférieur à 0,05 comme sûrement pathologique, et 0,07 comme probablement pathologique, 51 % de diagnostic, donc une nette amélioration. Plus récemment GREINECKER (1963), examinant 204 malades tonographiquement, estime que la valeur de C inférieure à 0,15 est probablement pathologique, et inférieure à 0,10, sûrement pathologique. Il obtient 86 % de diagnostic en utilisant ces critères, ce qui est excellent, comparé aux autres résultats.

Du point de vue pratique, la seule détermination de C par la tonographie ne permet le diagnostic que dans un nombre réduit de cas. C'est pourquoi le rapport Po/C et la combinaison de Po/C avec l'épreuve à l'eau ont été introduits. Les résultats obtenus avec ces deux méthodes sont plus intéressants.

- LEYDHECKER (1955) montre que l'introduction de la "valeur d'écoulement", équivalente au rapport Po/C, augmente la séparation entre yeux normaux et glaucomateux. Pour une tonographie de 0 à 4 minutes, la valeur

moyenne normale de Po/C est égale à 54, et il considère une valeur supérieure à 102 comme probablement pathologique, et à 140 comme sûrement pathologique.

En faisant une tonographie de trois à sept minutes, ces chiffres sont portés respectivement à 56, 118 et 170. Sur 100 cas de glaucome, LEYDHECKER, à l'aide de ces derniers critères, confirme le diagnostic dans 92 % des cas (21 résultats probablement pathologiques et 71 sûrement). Pour BECKER (1956), sur une série de 175 yeux normaux et 188 yeux glaucomateux, un rapport Po/C supérieur à 100 est presque à coup sûr pathologique(la tonographie est faite de 0 à 4 minutes), les valeurs supérieures à 100 se rencontrant dans 71 % des yeux glaucomateux et seulement 2 % des yeux normaux. Ces bons résultats ont été confirmés par ROBERTS (1956) qui trouve Po/C supérieur à 100 dans 28 cas sur 31 de glaucome chronique simple, et par LAWRENCE, sur 250 yeux, qui montre que 5 % de normaux ont encore un Po/C supérieur à 137 et 2 % seulement supérieur à 187. En gros, la fréquence diagnostique se trouve augmentée de 36 à 70 % en utilisant le rapport Po/C.

- Enfin, pour encore mieux séparer les populations normales et glaucomateuses, BECKER (1956) combine la tonographie et l'épreuve à l'eau, la tonographie étant faite trente minutes après l'absorption d'un litre d'eau. Po/C supérieur à 100 se trouve chez 97 % de glaucomateux et 1 % de normaux et Po/C supérieur à 137 dans 73 % des glaucomateux et seulement 0,15 % des yeux normaux. Ces bons résultats ont notamment été confirmés par ROBERTS (1956) mais sur un nombre de cas moindre. Quoi qu'il en soit, BECKER estime que le rapport Po/C obtenu après épreuve à l'eau reste le meilleur critère dans le diagnostic précoce du glaucome, sa valeur diagnostique atteignant plus de 90 %

VI. LES RESULTATS DE LA TONOGRAPHIE COMPARES A CEUX DES METHODES DE PERFUSION

Il était séduisant de pratiquer un calcul de la facilité d'écoulement par perfusions d'yeux énucléés ; on éliminait de la sorte un certain nombre de facteurs, susceptibles de fausser les résultats tonographiques, telles les modifications vasculaires ou les réactions homéostasiques de l'oeil à la tonographie. Sans décrire les méthodes utilisées par les différents auteurs, nous donnerons succintement les résultats les plus importants, obtenus :

- GRANT et TROTTER (1955), sur 31 yeux humains, trouvent un C égal à 0,27 qui peut être avantageusement comparé à leur valeur 0,23 déterminée par la tonographie sur 171 patients normaux. Dans un cas, C tonographique était égal à 0,30 et quinze minutes après l'énucléation, la perfusion donnait le résultat voisin de 0,29.

- BECKER et CONSTANT (1956 - 1959) font une tonographie, une perfusion in vivo et une perfusion in vitro quelques minutes après l'énucléation de cinq yeux pour mélanocancer. Leurs résultats sont très voisins :

Cas	C Tonographique	C Perfusion in vivo	C Perfusion in vitro
I.	0,27	0,26	0,29
II.	0,22	0,21	0,24
III.	0,20	0,21	0,23
IV.	0,25	0,24	0,26
V.	0,32	0,33	0,38

TABLEAU V.

Résultats de la Tonographie et de la Perfusion avant et après énucléation (BECKER 1956 - 1959)

- FRANCOIS, RABAEY, NEETENS et EVENS (1956) font 67 perfusions d'yeux humains énucléés et déterminent un C moyen de 0,25, et dans une autre série de 125 yeux, un C moyen de 0,39.

Ces différents résultats sont en bon accord avec ceux trouvés pour C moyen à la même époque par différents auteurs à l'aide de la tonographie de GRANT et semblent donc indiquer que la tonographie est une bonne méthode pour apprécier l'état des émonctoires de l'angle irido-cornéen.

VII. C O N C L U S I O N

Nous venons de voir rapidement la méthode tonographique, ses causes d'erreurs et les méthodes pour y remédier. Un des inconvénients majeurs de la méthode réside dans la grande dispersion des résultats et le chevauchement important des valeurs ne permettant pas de tracer avec netteté une ligne de démarcation entre valeurs normales et valeurs pathologiques. L'introduction du rapport Po/C, et surtout la combinaison tonographie par le rapport Po/C - épreuve à l'eau, ont amélioré considérablement la valeur diagnostique de la méthode.

Pour terminer, nous ne ferons que citer BECKER et SHAFFER (1961) : "Il apparait que beaucoup de sources d'erreurs de la tonographie peuvent être évitables, sont partiellement auto-compensées ou peuvent être corrigées par l'application de facteurs appropriés. La tonographie reste un des meilleurs tests cliniques dans le diagnostic précoce du glaucome".

D E U X I E M E P A R T I E

Résultats Personnels

La mesure du tonus oculaire est faite systématiquement chez tous les malades de plus de quarante ans venant consulter à la policlinique. Nous considérons comme suspect de glaucome un malade présentant, à plusieurs reprises, un tonus oculaire atteignant ou dépassant 22 mm Hg. Le malade est alors hospitalisé et un bilan hospitalier complet est pratiqué, comprenant :

- la mesure du tonus oculaire deux fois par jour, à l'appareil de Schiötz après évaluation de la valeur différentielle par rapport à la valeur tonométrique obtenue à l'aplanotonomètre de GOLDMANN. Le tonus oculaire est, en outre, mesuré au courant de la nuit à 24 heures et 5 heures du matin.

- l'étude détaillée du champ visuel à l'appareil de GOLDMANN.

- les épreuves de provocation, si la courbe journalière de tonus et le champ visuel sont strictement normaux. Les épreuves faites couramment sont l'épreuve à l'eau et l'épreuve au priscol. Elles consistent toutes les deux en la mesure tous les quarts d'heure du tonus oculaire pendant une heure et demie après l'ingestion d'un litre d'eau dans le cas de l'épreuve à l'eau et après l'injection sous-conjonctivale d'un cm^3 de priscol dans le cas de l'épreuve au priscol.

Nous avons pu ainsi, en un an, examiner systématiquement 100 yeux, se répartissant en trois groupes :

- 25 yeux où le glaucome a été confirmé, mais où le champ visuel s'est révélé être entièrement normal,
- 40 yeux où le glaucome a été confirmé et où le champ visuel montrait déjà une atteinte glaucomateuse,
- 35 yeux où le bilan est resté négatif et qui restent sous surveillance.

Chez tous ces yeux, la tonographie a été faite systématiquement et dans un certain nombre de cas elle a pu être associée à une épreuve à l'eau.

Pour avoir un point de repère pour les yeux suspects de glaucome, nous avons également fait une tonographie chez 50 yeux strictement normaux et 13 yeux où le glaucome était connu depuis plusieurs mois ou années. En outre, 12 yeux nous ont posé un problème particulier pour l'interprétation des résultats tonographiques, comme nous le verrons au paragraphe VII.

Pour tous les yeux, la méthode employée pour la tonographie a été la même :

- Anesthésie soigneuse de la cornée des deux yeux à l'aide de Novésine à 0,4 %.

- Mesure préalable du tonus oculaire à l'aplanotonomètre de GOLDMANN, permettant de connaître la valeur Po, et au tonomètre de Schiötz muni du poids de 10 grammes. Les deux valeurs, Po et Pt, obtenues, permettent d'obtenir à partir du nomogramme de FRIEDENWALD 1955, la valeur du coefficient de rigidité sclérale K.

- Mise au repos allongé du malade quelques minutes avant la tonographie.

-Tonographie de sept minutes avec le tonomètre électronique de la firme MUELLER et Cie (Chicago), couplé à un appareil enregistreur de la firme CHAUVIN-ARNOUX (Paris). Nous avons employé dans la grande majorité des cas le poids de 5,5 grs pour obtenir au début de la tonographie une déviation de l'index du tonomètre d'au moins quatre unités. Lorsque la pression oculaire au départ était trop forte (supérieure à 30 mm Hg), nous avons pris le poids de 10 grs.

Pour un même malade, un intervalle de deux heures au moins séparait la tonographie de chaque oeil , afin d'éviter tout réflexe consensuel pouvant perturber la pression intraoculaire du deuxième oeil.

La facilité d'écoulement C et la valeur d'écoulement Po/C ont été calculées pour une tonographie de sept minutes, avec amputation des trois premières minutes, selon la technique préconisée par LEYDHECKER. Les tables employées ont été soit celles de MOSES et BECKER (1958), complétées pour les lectures au quart de graduation par LEYDHECKER (1960), soit celles de DRAEGER (1959) donnant les valeurs de C pour les rigidités sclérales de 0,01 à 0,035 et pour les trois poids du tonomètre.

Nous étudierons successivement :

- La tonographie dans les yeux normaux,
- La tonographie dans les yeux glaucomateux,

- La tonographie dans les cas où la suspicion de glaucome a été confirmée,
- La tonographie dans les cas où la suspicion n'a pas été confirmée,
- La tonographie et l'épreuve à l'eau,
- La tonographie comparée aux épreuves de provocation,
- Les cas particuliers.

I. YEUX NORMAUX

Avant de développer les résultats tonographiques obtenus chez nos malades suspects de glaucome, il convient d'exposer les résultats obtenus chez des yeux normaux. Une tonographie a été faite, selon la méthode décrite plus haut, sur 50 yeux entièrement normaux, sans antécédents ni signes anamnestiques ou cliniques de glaucome. Il s'agissait en général de malades hospitalisés dans d'autres services et envoyés à notre policlinique pour un examen systématique du fond d'oeil, en raison d'affections diverses (artérite, affections neurologiques, hémopathies, diabète etc ...).

Un exemple d'une courbe type d'un oeil normal est présenté sur la figue 1 (réduction de moitié par photographie du tracé enregistré sur papier). En général, les courbes obtenues ont montré une diminution progressive et lente de la pression intraoculaire du début à la fin de la tonographie. Dans huit cas cependant, un plateau constant pendant une minute a été noté, puis seulement une diminution progressive de Pt.

L'âge moyen des sujets examinés est de 47 ans. Environ 50 % ont un âge se situant entre 50 et 65 ans, le plus âgé ayant 65 ans et le plus jeune 17 ans.

La pression intraoculaire moyenne, mesurée à l'aplanotonomètre, se situe à 14,2 mm Hg et aucune valeur de Po n'a dépassé 20 mm Hg.

Les valeurs de C et Po/C, ainsi que la rigidité sclérale, pour chaque sujet, sont réunies dans les tableaux VI et VII. La facilité d'écoulement C a été déterminée à la fois à partir des tables de MOSES et BECKER, donc sans tenir compte de chaque valeur particulière de la rigidité sclérale, et à partir de celles de DRAEGER.

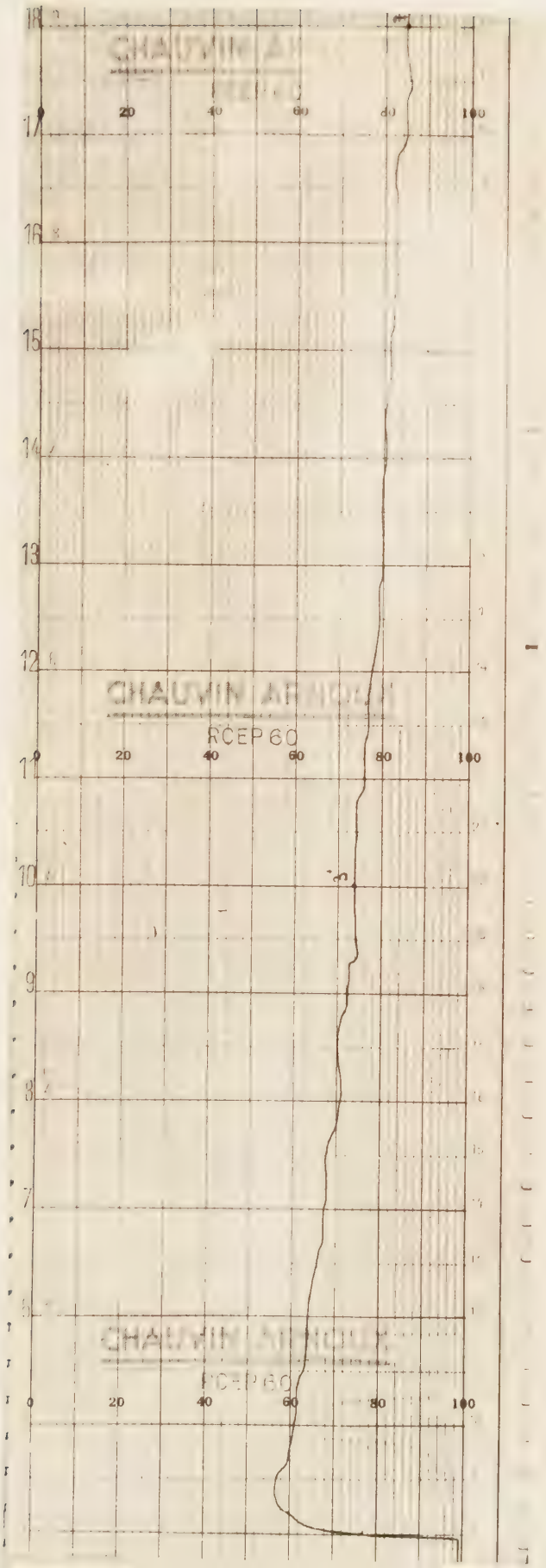

FIGURE 1

Tracé tonographique normal

1) RIGIDITE SCLERALE

La rigidité sclérale moyenne pour les 50 yeux est de 0,022. Il s'agit donc d'une valeur très voisine de celle de 0,0215 déterminée expérimentalement par FRIEDENWALD. L'éventail des valeurs est cependant assez grand puisque la valeur la plus basse est de 0,014 et la plus élevée de 0,035. Mais cependant, dans 20 yeux, soit 40 %, la rigidité sclérale se situe entre 0,020 et 0,023 et 75 % des valeurs sont comprises entre 0,019 et 0,025. Les rigidités sclérales très hautes ou très basses sont donc relativement rares.

2) FACILITE D'ECOULEMENT

Déterminée à partir des tables de MOSES et BECKER, donc sans tenir compte de la rigidité sclérale particulière de chaque oeil, la valeur moyenne de la facilité d'écoulement est égale à 0,165. Cette valeur est pratiquement semblable à celle que l'on peut obtenir en n'utilisant que les tables de DRAEGER, et qui est égale à 0,160. De toute façon, nous obtenons pour une série de 50 yeux normaux, une facilité d'écoulement peu différente de celle de 0,17 que LEYDECKER avait trouvée sur une série de 100 yeux normaux.

Examinées dans le détail, les valeurs de la facilité d'écoulement ne présentent une différence notable entre celles déterminées à partir des tables de MOSES et BECKER et celles déterminées à partir des tables de DRAEGER, que pour les basses et les hautes valeurs de la rigidité sclérale. C'est ainsi que pour les basses rigidités sclérales, la facilité d'écoulement est plus élevée avec les tables de DRAEGER qu'avec celles de MOSES et BECKER. C'est exactement l'inverse pour les hautes rigidités sclérales.

Les tables de DRAEGER faisant intervenir la valeur particulière de la rigidité sclérale dans le calcul de la facilité d'écoulement, il nous a paru préférable de les employer dans les cas où la rigidité sclérale était inférieure à 0,020 et supérieure à 0,022. D'autre part, pour des rigidités sclérales entre 0,020 et 0,022, les tables de MOSES et BECKER et celles de DRAEGER donnent les mêmes valeurs pour C.

K	Tables de MOSES et BECKER		Tables de DRAEGER	
	C	Po/C	C	Po/C
0,014	0,15	92	0,22	63
0,018	0,19	78	0,25	60
0,018	0,15	113	0,18	94
0,018	0,13	130	0,17	100
0,018	0,15	66	0,18	55
0,018	0,15	86	0,19	68
0,019	0,11	100	0,11	100
0,019	0,11	127	0,12	110
0,019	0,17	82	0,22	63
0,019	0,23	65	0,24	63
0,020	0,11	100	0,11	100
0,020	0,17	76	0,17	76
0,021	0,15	100	0,15	100
0,021	0,18	100	0,18	100
0,021	0,15	120	0,15	120
0,021	0,17	95	0,17	95
0,021	0,15	120	0,15	120
0,022	0,13	115	0,13	115
0,022	0,15	120	0,15	120
0,022	0,21	95	0,21	95
0,022	0,19	73	0,19	73
0,022	0,17	70	0,17	70
0,022	0,15	113	0,15	113
0,022	0,17	70	0,17	70
0,022	0,15	93	0,15	93

TABLEAU VI

Valeurs de K, C et Po/C dans 25 yeux normaux

K	Tables de MOSES et BECKER		Tables de DRAEGER	
	C	Po/C	C	Po/C
0,022	0,15	93	0,15	93
0,023	0,15	86	0,14	93
0,023	0,15	106	0,14	114
0,023	0,15	73	0,14	78
0,023	0,19	84	0,18	88
0,024	0,17	58	0,17	58
0,024	0,15	65	0,14	71
0,024	0,15	73	0,13	100
0,024	0,15	80	0,14	85
0,024	0,19	105	0,17	117
0,025	0,21	95	0,18	111
0,025	0,19	63	0,17	70
0,025	0,19	63	0,17	70
0,025	0,15	93	0,13	107
0,025	0,13	115	0,12	125
0,025	0,17	87	0,15	100
0,025	0,15	100	0,13	115
0,025	0,15	100	0,13	115
0,026	0,17	82	0,15	93
0,027	0,13	84	0,11	100
0,027	0,28	46	0,23	56
0,028	0,15	73	0,12	91
0,029	0,25	64	0,17	94
0,032	0,20	50	0,13	84
0,035	0,23	43	0,13	76

TABLEAU VII

Valeurs de K, C et Po/C dans 25 yeux normaux

Comme les tables de MOSES et BECKER sont complétées pour des lectures au quart de graduation, elles permettent donc une appréciation plus exacte de la facilité d'écoulement. Nous avons donc employé les tables de MOSES et BECKER (pour des rigidités sclérales de 0,020 à 0,022) et les tables de DRAEGER pour la détermination de la facilité d'écoulement des yeux glaucomateux et suspects de glaucome. Nous n'avons par ailleurs pas retrouvé dans la littérature une telle façon de faire.

A partir de la moyenne de 0,17 pour la facilité d'écoulement, LEYDHECKER avait trouvé un écart type + ou - 0,041. Il avait déterminé la valeur de 0,09 comme probablement pathologique en prenant la moyenne moins 2 σ et 0,05, valeur sûrement pathologique, à partir de C moyen moins 3σ L'écart type pour notre série de 50 yeux est, en prenant les tables de MOSES et BECKER pour les rigidités sclérales de 0,020 à 0,022 et les tables de DRAEGER pour les autres rigidités sclérales, égal à + ou - 0,034. C moyen moins 2 σ nous donne donc 0,09 comme première valeur vraisemblablement pathologique et C moyen moins 3 σ = 0,06 comme première valeur sûrement pathologique. Nos valeurs limites sont donc très proches de celles de LEYDHECKER.

La dispersion des valeurs de C pour les 50 yeux normaux reste grande, comme la majorité des auteurs l'avait déjà constaté. La valeur minimum de 0,11 se retrouve trois fois, alors que la valeur maxima est égale à 0,25. Seules 32 valeurs de C, soit 64 % sont égales ou supérieures à 0,15, et 36 % se situent entre 0,11 et 0,14. Mais dans aucun cas nous n'avons atteint la première valeur probablement pathologique de 0,09.

3) VALEUR D'ECOULEMENT Po/C

LEYDHECKER, comme pour la facilité d'écoulement, avait déterminé sur ses 100 yeux, une moyenne de Po/C de 56, la valeur de 118 comme probablement pathologique et 170 comme sûrement pathologique. Mais LEYDHECKER n'avait utilisé que les tables de MOSES et BECKER. En utilisant à la fois les tables de MOSES et BECKER et celles de DRAEGER pour 50 yeux normaux, la

valeur moyenne de Po/C est égale à 90, l'écart type σ étant + ou - 19,4. Nous pouvons ainsi déterminer, à partir de la moyenne et de l'écart type, de nouvelles valeurs limites qui sont :

Po/C moyen + 2 σ = 128,8, valeur probablement pathologique
Po/C moyen + 3 σ = 148,2, valeur sûrement pathologique.

Les valeurs limites ainsi obtenues sont donc nettement différentes de celles déterminées par LEYDHECKER, au contraire de la facilité d'écoulement.

En admettant cependant ces valeurs limites, aucune valeur de Po/C n'est probablement pathologique, puisque le rapport Po/C le plus élevé est 125. A l'opposé, en considérant les résultats donnés uniquement par les tables de MOSES et BECKER , et en admettant avec LEYDHECKER, que la première valeur suspecte pour Po/C est 118, nous retrouvons cinq fois un rapport Po/C probablement pathologique.

Que conclure de cette série de 50 yeux normaux ?

- Tout d'abord que la valeur moyenne de la rigidité sclérale est proche de celle déterminée expérimentalement par FRIEDENWALD. Les valeurs hautes ou basses de la rigidité sclérale sont moins nombreuses que les valeurs se rapprochant de la moyenne. Mais la rigidité sclérale doit être déterminée pour chaque mesure.

- Que nous retrouvons une facilité d'écoulement moyenne très proche de celle de LEYDHECKER et que nos valeurs probablement et sûrement pathologiques sont également similaires à celles de LEYDHECKER. La dispersion des valeurs de C reste néamnoins grande.

- Que l'emploi conjugé des tables de MOSES et BECKER et de DRAEGER nous amène à considérer de nouvelles valeurs limites pour le rapport Po/C, valeurs différentes de celles de LEYDHECKER qui n'avait employé que les seules tables de MOSES et BECKER. En effet, un rapport Po/C égal ou supérieur à 128,8, ou 129, est probablement pathologique et égal ou supérieur à 148,2 ou 148, sûrement pathologique. Nous avons adopté les valeurs de 129 et 148 pour l'interprétation des résultats de la tonographie dans les yeux suspects de glaucome.

II. YEUX ATTEINTS DE GLAUCOME CHRONIQUE SIMPLE

Nous avons tonographié sept malades, soit 13 yeux présentant un glaucome chronique déjà évolué et pour la plupart diagnostiqué depuis plusieurs semaines. Sept yeux avaient un tonus oculaire égal ou supérieur à 30 mm Hg et quatre entre 24 et 28 mm Hg. Deux yeux avaient un tonus oculaire normal de 20 mm Hg, mais il s'agissait d'un malade sous miotiques depuis longtemps et chez lequel le traitement avait été arrêté depuis trois jours pour permettre un bilan complet. Tous les yeux, sauf un, présentaient une atteinte nette, parfois déjà grave, du champ visuel et on notait quatre fois une excavation glaucomateuse à l'examen du fond d'oeil.

La tonographie a été faite pour les 13 yeux en sept minutes avec amputation des trois premières minutes. La valeur de C a été calculée avec les tables de MOSES et BECKER pour les rigidités sclérales de 0,020 à 0,022 et avec les tables de DRAEGER pour les autres rigidités sclérales.

Les résultats enregistrés sont présentés dans le Tableau VIII et un exemple de tracé tonographique en figure 2.

Il n'est pas possible, sur 13 yeux, de tirer des conclusions valables, mais au moins peut-on avoir une idée de ce que donne comme réponse la tonographie dans des yeux déjà gravement atteints par le glaucome, et peut-on faire quelques constatations :

- Seuls quatre yeux ont une rigidité sclérale normale ou proche de la normale ; les autres neuf yeux ont tous une rigidité sclérale élevée.

- Toutes les valeurs de la facilité d'écoulement sont inférieures à 0,11. C est probablement pathologique quatre fois et sûrement pathologique huit fois. Seule une valeur de C, 0,10, se trouve dans la zone de chevauchement entre yeux normaux et yeux glaucomateux.

- Toutes les valeurs du rapport Po/C sont pathologiques et dépassent nettement la valeur de 148 fixée comme première valeur sûrement pathologique. Ce rapport Po/C permet donc dans cette série un diagnostic positif dans 100 % des cas.

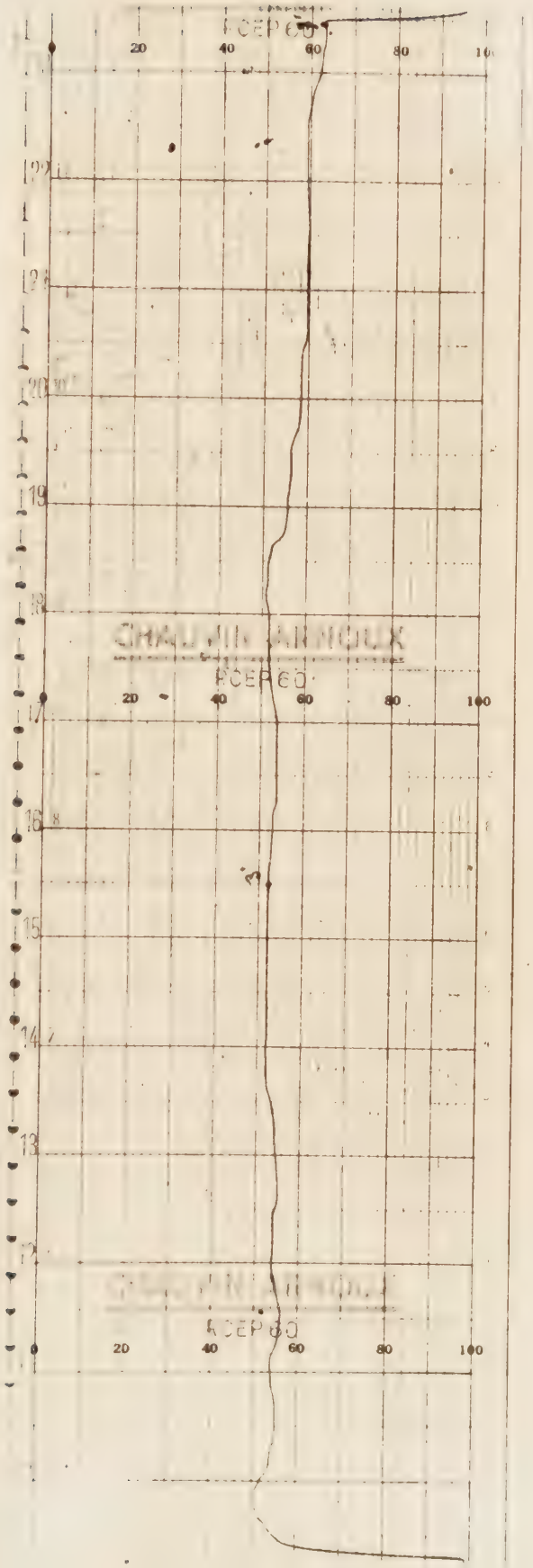

FIGURE 2

Tracé tonographique pathologique

K	C	Po/C
0,021	0,08	375
0,021	0,03	1000
0,021	0,03	600
0,022	0,06	400
0,023	0,04	500
0,024	0,10	240
0,024	0,07	514
0,025	0,07	430
0,025	0,07	343
0,025	0,03	1400
0,027	0,04	700
0,027	0,02	2000
0,030	0,03	1100

TABLEAU VIII

Valeurs de K, C et Po/C de 13 yeux atteints

de glaucome chronique simple évolué.

III. SUSPICIONS DE GLAUCOME CONFIRMEES

Une tonographie a été faite systématiquement dans 65 yeux de 35 malades hospitalisés pour suspicion de glaucome, où le diagnostic de glaucome a été confirmé de la manière suivante :

- dans 25 yeux, par la courbe de tonus et les épreuves de provocation. Dans ces cas, le champ visuel ne montrait pas d'atteinte glaucomateuse.
- dans 40 yeux, par la courbe de tonus et une atteinte nette glaucomateuse du champ visuel. Dans ces cas, les épreuves de provocation n'ont pas été faites.

Nous présentons les résultats obtenus par la tonographie dans les tableaux IX et X. Les valeurs de C ont été déterminées à partir d'une tonographie de sept minutes avec amputation des trois premières minutes et calculées à partir des tables de MOSES et BECKER pour les rigidités sclérales 0,020 , 0,021 et 0,022 et à partir des tables de DRAEGER dans les autres cas. Le poids employé, étant donné la pression intraoculaire au début de la tonographie, a été celui de 5,5 grs. dans tous les cas. Les valeurs limites de C et Po/C utilisées sont celles déterminées à partir de notre série de 50 yeux, c'est-à-dire :

- C inférieur à 0,09 : probablement pathologique
- C inférieur à 0,06 : sûrement pathologique
- Po/C supérieur à 129: probablement pathologique
- Po/C supérieur à 148: sûrement pathologique

1) FACILITE D'ECOULEMENT

Sur 25 yeux, où le diagnostic de glaucome a été confirmé, mais où le champ visuel était strictement normal, on obtient :

- 7 valeurs de C sûrement pathologiques
- 6 valeurs de C probablement pathologiques
- 12 valeurs de C dans les limites de la normale

C	Po/C	C	Po/C
0,12	200	0,09	177
0,04	575	0,05	440
0,08	325	0,11	180
0,14	100	0,10	190
0,10	220	0,03	730
0,15	120	0,03	600
0,23	70	0,09	244
0,15	120	0,11	218
0,19	89	0,09	222
0,05	400	0,12	166
0,05	460	0,10	221
0,06	333	0,08	210
0,08	250		

TABLEAU IX

Valeurs de C et Po/C dans 25 cas de suspicion de glaucome confirmée avec C.V. normal

C	Po/C	C	Po/C
0,09	222	0,07	471
0,06	300	0,15	126
0,11	172	0,09	200
0,06	433	0,07	237
0,03	800	0,10	210
0,06	400	0,13	135
0,05	360	0,09	233
0,06	366	0,08	250
0,05	400	0,10	200
0,07	230	0,09	266
0,04	475	0,08	350
0,18	105	0,09	300
0,16	100	0,10	230
0,06	366	0,09	220
0,09	340	0,10	220
0,13	200	0,15	160
0,15	140	0,09	222
0,06	660	0,09	177
0,08	237	0,07	300
0,16	112	0,08	237

TABLEAU X

Valeurs de C et Po/C dans 40 cas de suspicion confirmé avec atteinte du C.V.

Il n'y a donc que 13 yeux, sur 25, donc 52 %, qui ont une facilité d'écoulement probablement ou sûrement pathologique. Il faut remarquer également que huit des douze valeurs normales sont situées entre 0,10 et 0,14, zone où l'on rencontre encore 36 % des valeurs de C des yeux normaux.

Si on examine maintenant les valeurs de C des 40 yeux où la suspicion de glaucome a été confirmée avec une atteinte du champ visuel, la proportion des valeurs probablement ou sûrement pathologique par rapport aux valeurs normales est meilleure. En effet, sur 40 yeux,

- 10 yeux ont une facilité d'écoulement sûrement pathologique
- 17 yeux ont une facilité d'écoulement probablement pathologique
- et 13 yeux ont une valeur de C supérieure à 0,10.

Ceci nous donne 27 yeux, soit 67,5 %, ayant une facilité d'écoulement probablement ou sûrement pathologique. On trouve donc moins de valeurs normales de C dans les yeux où le champ visuel présente déjà une atteinte glaucomateuse, même légère.

En réunissant les deux groupes d'yeux, on obtient 40 yeux sur 65 ayant une valeur de C probablement ou sûrement pathologique, soit 61,5 %. LEYDECKER, de son côté, en employant les tables de MOSES et BECKER, n'avait trouvé que 51 % de valeurs probablement ou sûrement pathologiques.

La dispersion des valeurs de facilité d'écoulement reste grande, comme pour les yeux normaux. En effet, sur les 65 yeux, 25 ont une facilité d'écoulement égale ou supérieure à 0,10, quinze valeurs se situant entre 0,10 et 0,14 et dix valeurs entre 0,15 et 0,23. Dans notre série de 65 yeux où la suspicion de glaucome a été confirmée, 15,4 % ont une valeur de C largement dans les limites de la normale et 23 % entre 0,10 et 0,14, intervalle où l'on trouve 36 % des yeux normaux.

2) VALEUR D'ECOULEMENT

La valeur diagnostique du rapport Po/C apparait immédiatement meilleure que celle que donne la facilité d'écoulement, 148 étant la valeur

au-dessus de laquelle Po/C est sûrement pathologique et 129 probablement pathologique, on obtient :

- Sur les 25 yeux à champ visuel normal, 20 valeurs de Po/C sûrement pathologiques et 5 valeurs normales,
- Sur les 40 yeux à champ visuel atteint, 34 fois un rapport Po/C sûrement pathologique, 2 fois probablement pathologique et 4 valeurs normales.

Au total, sur les 65 yeux où la suspicion de glaucome a été confirmée, 56 yeux ont un rapport Po/C probablement ou sûrement pathologique (2 + 54), soit 86,1 %. La valeur d'écoulement est donc un meilleurs moyen de diagnostic que la facilité d'écoulement seule, puisqu'avec celle-ci, nous n'avons obtenus que 61,5 % de valeurs probablement ou sûrement pathologiques. Par contre, le pourcentage obtenu est légèrement inférieur à celui obtenu par LEYDHECKER, soit 92 %, avec les seules tables de MOSES et BECKER.

3) VALEUR DE LA METHODE DE LEYDHECKER

La tonographie en sept minutes, avec amputation des trois premières minutes, n'a été utilisée, jusqu'à présent, pratiquement que par LEYDHECKER qui en avait montré l'avantage sur la tonographie classique de GRANT. LEYDHECKER avait montré, sur 100 yeux glaucomateux, que le pourcentage des valeurs probablement et sûrement pathologiques passait de 21 % à 51 % pour la facilité d'écoulement et de 71 % à 92 % pour la valeur d'écoulement.

Il nous semble intéressant de comparer les résultats obtenus entre la tonographie de 0 à 4 minutes et de trois à sept minutes chez nos 65 yeux glaucomateux. LEYDHECKER, à partir de 100 yeux normaux, et utilisant uniquement les tables de MOSES et BECKER, admettait comme valeurs limites, 0,14 et 0,07 pour la facilité d'écoulement, 102 et 140 pour la valeur d'écoulement. A partir de nos 50 yeux normaux, nous avons calculé, pour la tonographie de 0 à 4 minutes, la moyenne des valeurs de C et de Po/C, déterminé l'écart-type pour ces deux paramètres, et ainsi délimité de nouvelles valeurs limites. Ces valeurs sont les suivantes :

- C inférieur à 0,12 probablement pathologique
- C inférieur à 0,06 sûrement pathologique
- Po/C supérieur à 104 probablement pathologique
- Po/C supérieur à 124 sûrement pathologique

Nous avons ensuite appliqué ces critères aux valeurs de C et Po/C obtenues pour la tonographie en quatre minutes chez nos 65 yeux glaucomateux. Tant dans les yeux normaux que dans les yeux glaucomateux, la facilité d'écoulement a été déterminée à partir des tables de MOSES et BECKER pour les rigidités sclérales de 0,020 à 0,022 et des tables de DRAEGER pour les autres rigidités sclérales.

Nous nous sommes contentés de présenter dans le tableau XI les pourcentages respectifs des valeurs probablement ou sûrement pathologiques de C et Po/C obtenus d'une part avec une tonographie classique en quatre minutes et d'autre part avec une tonographie en sept minutes dans les 65 yeux glaucomateux.

	Tonographie 0' à 4'	Tonographie 3' à 7'
C	15 %	61,5 %
Po/C	50 %	86,1 %

TABLEAU XI

L'avantage de la tonographie en sept minutes saute immédiatement aux yeux. La différence de valeur diagnostique entre tonographie classique et tonographie en sept minutes est encore plus évidente, comme le montre le tableau XII, si l'on considère uniquement les valeurs sûrement pathologiques de C et Po/C.

	Tonographie 0' à 4'	Tonographie 3' à 7'
C	5 %	26,1 %
Po/C	27 %	83 %

TABLEAU XII

IV. SUSPICIONS DE GLAUCOME NON CONFIRMEES

Sur les 100 yeux suspects de glaucome examinés à la clinique en un an, le bilan s'est révélé entièrement négatif dans 35 cas. Ces yeux ont été également tonographié systématiquement selon la méthode de LEYDHECKER, et les valeurs de C et Po/C calculées et interprétées comme précédemment.

Les résultats obtenus pour les 35 yeux sont réunis dans le Tableau XIII.

1) FACILITE D'ECOULEMENT

La facilité d'écoulement des 35 yeux est en moyenne égale à 0,15. Il s'agit donc d'une valeur très proche de la valeur moyenne normale de 0,165 que nous avons trouvée pour nos 50 yeux normaux. Mais en examinant les valeurs de C dans le détail, on remarque qu'il n'existe pas de valeur inférieure à 0,10 suivant les critères adoptés, et que 15 valeurs, soit 42,8 % sont situées entre 0,10 et 0,14, intervalle dans lequel nous avons trouvé 38 % des valeurs normales de notre série de 50 yeux normaux.

C	Po/C	C	Po/C
0,18	105	0,19	84
0,15	146	0,13	107
0,17	82	0,13	76
0,13	140	0,15	80
0,15	113	0,20	90
0,14	115	0,15	106
0,13	160	0,13	92
0,18	122	0,14	114
0,20	110	0,25	80
0,15	140	0,15	126
0,19	98	0,17	100
0,11	155	0,17	82
0,11	163	0,13	107
0,13	130	0,15	100
0,13	107	0,13	115
0,15	120	0,16	100
0,17	97	0,13	138
		0,13	116

TABLEAU XIII

Valeurs de C et Po/C de 35 yeux où la suspicion de glaucome n'a pas été confirmée.

Donc, en ne considérant que la facilité d'écoulement, la valeur diagnostique de la méthode semble bonne puisque toutes les valeurs de facilité d'écoulement sont comprises dans la zone normale. Mais il ne faut pas oublier qu'il ne faut accorder qu'un intérêt réduit à la valeur de la facilité d'écoulement. En effet, dans nos 35 yeux, nous trouvons 42,8 % des yeux dans une zone (0,10 à 0,14) où se retrouvent 23 % des yeux glaucomateux.

2) VALEUR D'ECOULEMENT

En considérant la valeur d'écoulement, on constate que sur les 35 yeux, 27 ont un Po/C inférieur à 129, donc normal, 5 entre 129 et 142, donc probablement pathologique et 3 dépassent 142, donc sont dans la zone sûrement pathologique. Le rapport Po/C est donc conforme au diagnostic dans 80 % des cas. Rappelons que pour ces 35 yeux, le bilan est resté entièrement négatif et le glaucome n'a pu être mis en évidence.

On peut se poser la question, à propos des 5 yeux où l'on retrouve un Po/C probablement pathologique et des 3 yeux où la valeur d'écoulement est même franchement pathologique, de savoir si l'on peut affirmer le glaucome sur la simple valeur Po/C en face du bilan par ailleurs normal. Nous verrons ultérieurement, en étudiant la tonographie combinée avec l'épreuve à l'eau, que l'on peut répondre partiellement par la négative. Nous avons pu suivre la plupart des malades durant toute l'année et l'évolution de ces cas va nous permettre de répondre à la question partiellement. Les malades où la suspicion n'a pu être confirmée ont été, en effet, convoqués pour un examen de la vision, du fond d'oeil et la mesure du tonus oculaire à l'aplanotonomètre. Jusqu'à présent, aucun malade, sauf un, n'a présenté de tonus oculaire pathologique à tous les contrôles. Le seul malade où le glaucome s'est confirmé (28 mm Hg ODG au premier contrôle) avait C = 0,20 et Po/C = 90 à droite et C = 0,15 - Po/C = 106 à gauche, donc des résultats tout à fait normaux.

Donc, à l'exception d'un seul cas, aucun oeil ayant eu une tonographie normale ou des valeurs de Po/C probablement ou sûrement pathologiques, n'a présenté par la suite de glaucome. Bien qu'un recul d'un an soit un peu court pour juger d'une évolution, surtout dans une affection comme le glaucome, dont on sait la longue évolution, on peut cependant dire qu'une valeur suspecte du rapport Po/C ne permet pas de conclure au glaucome, en face d'un bilan par ailleurs normal, mais doit engager à une surveillance régulière du malade.

V. TONOGRAPHIE ET EPREUVE A L'EAU

BECKER, le premier, eut l'idée, pour rendre la tonographie plus sensible, de la combiner avec l'épreuve à l'eau. Il estime que cette façon de faire est le meilleur test fonctionnel de l'oeil suspect de glaucome et que la valeur diagnostique de cette méthode atteint 95 %.

Nous avons également fait une tonographie une demi-heure après ingestion d'un litre d'eau, dans un certain nombre d'yeux.

Il s'agit de :

- 9 yeux où la suspicion de glaucome a été confirmée. Dans ces cas, le rapport Po/C était soit normal (5 fois), soit déjà légèrement pathologique, entre 160 et 180 (4 fois)

- 7 yeux où la suspicion de glaucome n'a pas été confirmée et où le rapport Po/C était normal, 6 fois, et 1 fois probablement pathologique (138).

Les valeurs de C et de Po/C pour ces yeux, après tonographie simple et après tonographie avec épreuve à l'eau, sont présentées dans le tableau XIV. Le trait en pointillé sépare les suspicions de glaucome confirmées des suspicions non confirmées.

Une première constatation s'impose, c'est la faible répercussion de la tonographie avec épreuve à l'eau sur la facilité d'écoulement.

Tonographie simple		Tonographie + épreuve à l'eau	
C	Po/C	C	Po/C
0,15	120	0,05	440
0,23	70	0,15	146
0,15	120	0,16	130
0,19	89	0,15	146
0,18	105	0,08	262
0,12	166	0,13	165
0,11	172	0,11	216
0,09	177	0,06	333
0,11	180	0,05	440
0,15	120	0,15	120
0,13	138	0,15	133
0,19	98	0,19	105
0,20	110	0,15	130
0,15	113	0,15	120
0,15	106	0,17	105
0,13	92	0,13	120

TABLEAU XIV

Résultats comparés de la tonographie simple
et de la tonographie combinée avec l'épreuve à l'eau.

En effet, sur les 9 yeux glaucomateux, la facilité d'écoulement ne devient pathologique que trois fois, et une fois probablement pathologique. Dans les suspicions non confirmées, la facilité d'écoulement n'a subi aucune modification dans tous les yeux.

Au contraire, le rapport Po/C est, lui, affecté par l'épreuve à l'eau. Dans les yeux glaucomateux, on obtient dans tous les cas, sauf deux, une nette augmentation par rapport à la réponse enregistrée par la tonographie simple. Au contraire, dans les suspicions non confirmées, le rapport Po/C n'a pas présenté d'augmentation aussi nette. Une seule valeur seulement est passée de la zone normale dans la zone probablement pathologique (110 à 130).

Il est difficile de tirer des conclusions statistiques valables sur seulement 16 mesures, mais la nette opposition entre les yeux glaucomateux et les yeux où la suspicion de glaucome n'a pas été confirmée, montre la valeur de la tonographie associée à l'épreuve à l'eau, surtout que l'épreuve à l'eau seule, nous le verrons, est loin d'avoir une valeur diagnostique importante.

VI. TONOGRAPHIE ET EPREUVES DE PROVOCATION

Dans les cas suspects de glaucome, où la preuve du glaucome n'est pas faite par la seule courbe de tonus et le champ visuel, nous pratiquons en général deux épreuves de provocation : l'épreuve à l'eau et l'épreuve au priscol. Le tonus oculaire est mesuré tous les quarts d'heure, pendant une heure et demie, après l'ingestion d'un litre d'eau ou l'injection sous-conjonctivale d'un cm^3 de priscol. L'épreuve est considérée comme positive lorsque le tonus oculaire augmente d'au moins 10 mm. Hg. L'épreuve à l'eau a été faite chez douze malades, soit 23 yeux, où la suspicion de glaucome a été confirmée, et l'épreuve au priscol sur 10 yeux. Les résultats comparés sont présentés dans le tableau XV. Nous n'exposerons pas les résultats dans les cas où la suspicion de glaucome n'a pas été confirmée. Nous avons vu, en effet, que chez ces malades, la tonographie n'a pas donné de résultats pathologiques et dans tous les cas, les épreuves de provocation sont restées négatives.

Tonographie		Epreuves Provocation		Tonographie		Epreuves Provocation	
C	Po/C	H_2O	Priscol	C	Po/C	H_2O	Priscol
0,07	366	-	-	0,15	120 (130 après H_2O)	-	+
0,06	400	-					
0,07	230	-		0,19	89 (146 après H_2O)	-	+
0,04	475	+		0,06	333	-	
0,18	105 (262 après H_2O)	-	-	0,08	250	-	+
0,16	100	-		0,09	177	-	+
0,09	200	-	-	0,05	440	-	
0,07	237	-		0,11	180 (365 après H_2O)	+	
0,14	100	+		0,09	210	+	
0,15	120 (550 après H_2O)	-	+	0,03	730	-	-
0,23	70 (146 après H_2O)	-	+	0,03	600	-	
				0,09	244	-	
				0,11	218	-	

TABLEAU XV

Résultats comparés de la tonographie
et des épreuves de provocation

Il apparaît nettement, d'après les résultats présentés, que la tonographie donne des résultats plus sensibles que l'épreuve à l'eau. En effet, sur les 23 yeux examinés, le rapport Po/C était pathologique ou probablement pathologique (soit avec une tonographie simple, soit avec une tonographie combinée avec l'épreuve à l'eau) dans 21 yeux, alors que l'épreuve à l'eau n'était positive que dans 4 yeux. La valeur diagnostique est donc de 91 % pour la tonographie contre 1,7 % pour l'épreuve à l'eau. L'épreuve au priscol semble par contre plus sensible, puisqu'elle s'est révélée être positive dans 6 yeux sur 9. Elle n'est cependant pas aussi sensible que la tonographie.

Il apparaît donc logique d'abandonner l'épreuve à l'eau au profit de la tonographie combinée avec l'épreuve à l'eau et de ne faire une épreuve au priscol que lorsque la tonographie + épreuve à l'eau est restée négative.

VII. CAS PARTICULIERS

Douze yeux nous ont posé un problème particulier. Il s'agit, en effet, d'yeux chez lesquels nous avons trouvé une valeur d'écoulement franchement pathologique et une facilité d'écoulement probablement pathologique neuf fois sur douze, comme le montre le tableau XVI, alors que le bilan clinique restait par ailleurs négatif, sauf chez un malade où l'on notait une discrète altération du champ visuel et un autre où l'on relevait une seule valeur du tonus dépassant 22 mm Hg pendant 8 jours d'hospitalisation.

Dans toute la littérature, nous n'avons pratiquement pas retrouvé la mention d'yeux normaux présentant des chiffres tonographiques pathologiques. Nos 50 yeux normaux n'ont pas non plus présenté de valeur d'écoulement dépassant 130. Jusqu'à présent, le reproche majeur que l'on faisait à la tonographie était de donner des chiffres normaux dans des yeux glaucomateux, et non l'inverse, comme c'est le cas pour nos 12 yeux. Il faudrait donc conclure au glaucome à l'extrême début pour ces yeux.

Comme nous l'avons précisé au début de ce travail, le diagnostic

de glaucome chronique simple a été posé dans tous les cas examinés, sans tenir compte des résultats tonographiques.

C	Po/C
0,07	230
0,09	245
0,08	227
0,08	225
0,07	300
0,09	210
0,06	300
0,05	300
0,05	260
0,11	172
0,10	180
0,10	210

TABLEAU XVI

Nous n'avons donc pas posé le diagnostic de glaucome dans ces yeux, mais nous pouvons nous poser deux questions :

- La tonographie peut-elle donner des résultats faux par excès, c'est-à-dire donner des résultats pathologiques dans des yeux normaux ? Si tel est le cas, il semble alors difficile d'accorder du crédit à la tonographie comme méthode diagnostique.

- La tonographie, au contraire, donne-t-elle dans un certain nombre de cas, des indications plus précises et plus précoces que l'examen de la courbe du tonus ou du champ visuel ?

Si nous nous référons aux résultats enregistrés, tant pour les yeux normaux, que pour les yeux glaucomateux, il paraît logique d'accorder un crédit non négligeable à la tonographie et dans ce cas, considérer ces yeux comme glaucomateux. C'est malgré tout un pas que nous n'avons pas franchi sur le plan clinique vis-à-vis des malades, et nous nous sommes contenté de les soumettre à un contrôle plus strict. L'évolution et l'observation de ces cas nous permettra en effet de juger avec plus de précision. En effet, si le glaucome se confirme ultérieurement chez ces malades, la tonographie recevra une confirmation très valable. Un an de recul est cependant insuffisant pour qui sait l'évolution lente du glaucome, mais déjà, le diagnostic de glaucome a été confirmé chez un malade, le tonus oculaire atteignant des valeurs pathologiques à plusieurs contrôles.

VIII. DISCUSSION DES RESULTATS ET CONCLUSION

Après avoir exposé dans le détail les résultats obtenus par l'étude de 50 yeux normaux, 100 yeux suspects de glaucome et de quelques yeux atteints de glaucome chronique évolué ou posant un problème d'interprétation des résultats, une récapitulation des résultats est nécessaire pour essayer de placer la tonographie dans le bilan clinique de l'oeil suspect de glaucome et de fixer les limites de la méthode.

Nous nous sommes servi pour le calcul des valeurs de C et de Po/C, à la fois des tables de MOSES et BECKER et des tables de DRAEGER, selon la rigidité sclérale mesurée pour chaque oeil. Ceci nous a amené à fixer de nouvelles valeurs limites entre valeurs normales, probablement et sûrement pathologiques, pour C et Po/C.

- Nous avons montré que la tonographie en sept minutes, avec amputation des trois premières minutes, comme l'a préconisée LEYDHECKER, est une méthode plus valable que la tonographie classique en quatre minutes de GRANT. En effet, pour 65 yeux glaucomateux, le pourcentage des valeurs pathologiques du rapport Po/C passe de 27 % lorsqu'on emploie la tonographie en quatre minutes à 83 % avec la méthode de LEYDHECKER.

- La prise en considération pour le diagnostic de la seule facilité d'écoulement n'est pas valable. En effet, seulement 61,5 % des valeurs de la facilité d'écoulement sont probablement ou sûrement pathologiques pour 65 yeux glaucomateux. D'autre part, la dispersion des valeurs reste importante ainsi qu'il a été toujours signalé par tous les auteurs. Il existe en effet une zone entre 0,10 et 0,14 où nous trouvons 36 % des valeurs normales, 23 % des valeurs correspondant à des yeux glaucomateux et 43 % des valeurs des yeux où la suspicion de glaucome n'a pas été confirmée. Cependant, la valeur 0,09 pour la facilité d'écoulement semble bien être, avec la méthode

que nous avons employée, la limite entre yeux normaux et yeux glaucomateux.

- La valeur d'écoulement Po/C permet, au contraire, un diagnostic plus sûr. Suivant les valeurs limites que nous avons adoptées, 83 % des yeux glaucomateux ont une valeur sûrement pathologique. Ce pourcentage passe à 86,1 % si nous prenons en considération les valeurs probablement pathologiques. Par ailleurs, la valeur 148 pour le rapport Po/C semble bien être la limite inférieure valable pour un oeil glaucomateux, puisqu'aucun oeil normal, et seulement trois yeux où la suspicion de glaucome n'a pu être faite, ont atteint cette valeur. Il existe également, comme pour la facilité d'écoulement, une zone que l'on peut considérer comme zone de dispersion, soit entre 120 et 160, où nous trouvons 8 % des yeux normaux (120 à 130), 9,2 % des yeux glaucomateux et 31 % des yeux où la suspicion de glaucome n'a pas été confirmée.

- La tonographie associée à l'épreuve à l'eau donne des résultats plus intéressants au point de vue diagnostique que la tonographie simple. En effet, sur 9 yeux glaucomateux, le rapport Po/C a augmenté pour atteindre des valeurs pathologiques dans 5 cas, alors que dans les 4 autres cas, les valeurs de normales, devenaient probablement pathologiques. A l'opposé, dans 7 yeux où le glaucome n'a pas été prouvé, l'augmentation du rapport Po/C a été faible et n'a pu donner d'indications valables.

- Enfin, nous avons pu montrer que la tonographie donnait de bien meilleurs résultats que les épreuves de provocation, surtout par rapport à l'épreuve à l'eau. Celle-ci peut, en effet, être abandonnée au profit de la tonographie et surtout au profit de la tonographie associée à l'épreuve à l'eau.

Ces différents résultats enregistrés montrent donc que la tonographie présente un intérêt non négligeable dans le diagnostic précoce du glaucome. Il reste cependant encore à préciser la place exacte qu'elle doit

occuper dans le bilan de l'oeil glaucomateux. On peut en effet se trouver devant plusieurs situations différentes.

. Dans un nombre non négligeable de cas, le glaucome fait immédiatement sa preuve tant par la courbe de tonus qui montre des valeurs pathologiques fréquentes que par l'étude du champ visuel où l'on met en évidence, dès le premier examen, de petits déficits significatifs. Dans ces cas, la tonographie ne peut être qu'un élément d'appoint et n'est pas indispensable au diagnostic.

. Fréquemment, on se trouve en présence d'un malade avec une courbe de tonus à la limite de la normale ou présentant seulement une ou deux valeurs pathologiques, et avec un champ visuel strictement normal. Au contraire, la courbe de tonus peut demeurer normale et le champ visuel montrer déjà de petits déficits. C'est dans ces cas que la tonographie simple ou associée à l'épreuve à l'eau prend toute son importance, puisque plus précise que les épreuves de provocation usuelles. Donnant des chiffres pathologiques, la tonographie vient confirmer le glaucome, mais malheureusement on ne peut infirmer le diagnostic sur des chiffres normaux. La tonographie reste une méthode d'appoint, apportant un élément d'orientation dans la recherche d'un diagnostic précoce du glaucome chronique simple.

. Il reste enfin un certain nombre de cas où la tonographie donne des résultats pathologiques au milieu d'un bilan par ailleurs strictement normal. Doit-on alors néanmoins poser le diagnostic de glaucome sur la seule tonographie ? Notre expérience ne nous permet pas de répondre par l'affirmative, et l'observation dans les années à venir de tels malades permettra de trancher la question. Mais nous pouvons cependant dire que trouver des résultats tonographiques pathologiques chez un malade, en dehors de tout autre élément positif, doit inciter à la prudence et à une surveillance plus étroite du malade tant du point de vue tonométrique que périmétrique.

Ainsi la tonographie a-t-elle bien sa place dans le cadre du diagnostic précoce du glaucome. Bien que n'étant pas une méthode infaillible, comme on l'avait cru lors de sa mise au point par GRANT, elle n'en reste pas moins une méthode plus sûre que les méthodes de provocation usuelles et peut même, dans un certain nombre de cas, être plus sensible que la tonométrie systématique.

VU

STRASBOURG, le 13 Novembre 1963

Le Président de Thèse :

Signé : J. NORDMANN

VU

STRASBOURG, le 13 Novembre 1963

Pour le Doyen de la Faculté de Médecine

L'Assesseur :

Signé : J. CALLOT

VU et PERMIS D'IMPRIMER

STRASBOURG, le 16 Novembre 1963

Le Recteur de l'Académie
Président du Conseil de l'Université

Signé : J.F. ANGELLOZ

B I B L I O G R A P H I E

ARMALY M.F. (1960)

The effect of intraocular pressure on outflow facility.
Arch. Ophthal., 64, 125 - 132

ASCHER K.W. et SPURGEON W.M. (1949)

Compression tests on aqueous veins of glaucomatous eyes.
Amer. J. Ophthal., 32, 239 - 251

ASKOVITZ S.I. (1953)

The electronic tonometer.
Amer. J. Ophthal., 36, 400 - 401

BALLINTINE E.J. (1955)

The effect of variation in scleral rigidity on the apparent facility of aqueous drainage as calculated from tonographic measurements.
Acta XVII Conc. Ophthal. Canada - USA, 3, 1516 - 1531

BALLINTINE E.J. (1961)

Tonographic technique.
Trans. Amer. Acad. Ophthal., 65, 136 - 144

BARANY E. (1955)

Experimental studies on aqueous outflow.
Acta XVII Conc. Ophthal. Canada - USA, 3, 1546

BECKER B. et FRIEDENWALD J.S. (1953)

Clinical aqueous outflow.
Arch. Ophthal., 50, 557 - 571

BECKER B. et CONSTANT M.A. (1955)

Experimental tonography.
Arch. Ophthal., 54, 321 - 329

BECKER B. et CHRISTENSEN R.E. (1956)

Water-drinking and tonography in the diagnosis of glaucoma.
Arch. Ophthal., 56, 321 - 326

BECKER B. et CONSTANT M.A. (1956)

Species variation in facility of aqueous outflow.
Amer. J. Ophthal., 42, 189 - 194

BECKER B. (1958)

The prognostic value of tonography in the miotic therapy of chronic simple glaucoma.
Amer. J. Ophthal., 46, 11 - 13

BECKER B. (1958)

The decline in aqueous secretion and outflow facility with age.
Amer. J. Ophthal., 46, 731 - 736

BECKER B. et SHAFFER R.N. (1961)

Diagnosis and therapy of the glaucoma.
St Louis. the C.V. Mosby Compagny

BECKER B. (1961)

Tonography in the diagnosis of simple (open angle) glaucoma.
Trans. Amer. Acad. Ophthal., 65, 156 - 162

BETTMAN J.W., FELLOWS V., CHAO P. et JOHNSON J.P. (1958)

The effect of tonography and other pressures on the intra-ocular blood volume.
Arch. Ophthal., 60, 230 - 236

V. BEUNINGEN E.G.A. (1956)

Methodische Hinweise zur Tonographie und Gonioscopie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 129, 202 - 210

V. BEUNINGEN E.G.A. (1956)

Der gegenwärtige Entwicklungsstand der Tonographie.
Ber. dtsch. Ophthal. Ges. Heidelberg, 60, 67 - 74

V. BEUNINGEN E.G.A. et FISCHER F.W. (1957)

Die klinische Bedeutung der Tonographie.
Graefes Arch. Ophthal., 158, 297 - 302

V. BEUNINGEN E.G.A. (1959)

Ein neues elektrisches Tonometer zur Tonometrie, Tonographie und Durchblutungsmessung des Auges.
Klin. Mbl. Augenheilk., 135, 184 - 187

V. BEUNINGEN E.G.A. (1959)

Die tonographischen Kompressionsteste im Dienste der Frühdiagnose des Glaukoms.
Ber. dtsch. Ophthal. Ges. Heidelberg, 62, 183 - 186

V. BEUNINGEN E.G.A. (1960)

Praktische Hinweise zur Tonographie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 137, 613 - 620

BÖCK J. et STEPANIK J. (1957)

Tonographische Untersuchungen über die Wirkung des Depressins auf das Auge.
Probl. act. Ophthal., 1, 115 - 120

BOLES-CARENINI B. (1955)

Diurnal variations of systemic venous pressure.
Amer. J. Ophthal., 39, 793 - 808

BOLES-CARENINI B., SPURGEON W.M., BUTEN R.E. et ASCHER K.W. (1955)

Comparative tonographic study of right and left normotensive eyes.
Amer. J. Ophthal., 40, 877 - 882

BOLES-CARENINI B. et CAMBIAGGI A. (1957)

Are aqueous humor dynamics influenced by aging ?
Amer. J. Ophthal., 44, 395 - 401

CAMBIAGGI A. et SPURGEON W.H. (1959)

The influence of tonography of one eye on the tonographic readings of the fellow eye.
Amer. J. Ophthal., 48, 130 - 137

DEPNER H.O. (1958)

L'état actuel de la tonographie.
Docum. Ophthal., 12, 106 - 184

DRAEGER J. (1959)

Untersuchungen über den Rigiditätskoeffizienten.
Docum. Ophthal., 13, 431 - 486

DRAEGER J. (1960)

Die Abhängigkeit des Rigiditätskoeffizienten von der Höhe des intraokularen Druckes.
Ophthalmologica, 140, 55 - 79

DRANCE S.M. (1960)

The coefficient of scleral rigidity in normal and glaucomatous eyes.
Arch. Ophthal., 63, 668 - 677

DRANCE S.M. et CARR F. (1961)

A comparaison of tonography with three Schiötz weights in normal eyes.
Arch. Ophthal., 65, 424 - 426

ETIENNE R. (1956)

Ce qu'il convient de savoir du glaucome en 1957.
Conf. Lyon. d'Ophtal., 28, 1 - 20

ETIENNE R. (1958)

Ce qu'il convient de savoir du glaucome en 1958.
Conf. Lyon. d'Ophtal., 48, 1 - 22

ETIENNE R. (1960)

Le glaucome chronique simple.
Conf. Lyon. d'Ophtal., 56, 1 - 22

FANTA H. (1961)

Die Tonographie während der Flüssigkeitsbelastung normaler und glaukomkranker Augen.
Klin. Mbl. Augenheilk., 138, 498 - 505

FRANCOIS J., RABAEY M. et NEETENS A. (1956)

Perfusions studies on the outflow of aqueous humor in human eyes.
Arch. Ophthal., 55, 193 - 204

FRANCOIS J., RABAEY M. et NEETENS A. (1956)

Perfusion in vitro of ten glaucomatous eyes.
Arch. Ophthal., 55, 488 - 502

FRANCOIS J., RABAEY M, NEETENS A. et EVENS L. (1958)

Further perfusion studies on the outflow of aqueous humor in human eyes.
Arch. Ophthal., 59, 683 - 691

FRANCOIS J., RABAEY M., NEETENS A. et EVENS L. (1959)

Etude comparative des résultats de la tonographie in vivo et de la perfusion in vitro.
Docum. Ophthal., 13, 56 - 77

FRIEDENWALD J.S. (1951)

Discussion de la communication de Grant.
Arch. Ophthal., 46, 124 - 128

FRONIMOPOULOS J., COFINAS H. et LAMBROU N. (1961)

Beitrag zur vereinfachten Tonographie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 138, 190 - 199

GALIN M.A., BARRAS I. et MANDELL G.L. (1961)

Measurements of aqueous flow utilizing the perilimbal suction cup.
Arch. Ophthal., 66, 91 - 95

GLOSTER J. et PERKINS E.S. (1959)

Distensibility of the human eye.
Brit. J. Ophthal., 43, 97 - 101

GOLDMANN H. (1951)

Abflussdruck, Minutenvolumen und Widerstand der Kammerwasserströmung des Menschen.
Docum. Ophthal.,5 - 6, 278 - 356

GOLDMANN H. (1955)

The rate of flow of the aqueous humor.

Glaucoma : A Symposium - Blackwell - Oxford, 105 - 125

GOLDMANN H. (1957)

Der Rigiditätskoeffizient (Friedenwald).
Ophthalmologica, 133, 330 - 335

GOLDMANN H. (1957)

Probleme der heutigen Glaukomforschung.
Probl. act. Ophtal., 1, 99 - 115

GOLDMANN H. (1959)

Zur Theorie der Tonographie.
Docum. Ophthal., 13, 236 - 248

GOLDMANN H. (1960)

Klinische Methoden der Untersuchung des intraokularen Druckes und der Abflussverhältnisse beim primären Glaukom.
Ophthalmologica, 139, 214 - 236

GRANT W.M. (1950)

Tonographic Method for measuring the facility and rate of aqueous flow in human eyes.
Arch. Ophthal., 44, 204 - 214

GRANT W.M. (1951)

Clinical measurements of aqueous outflow.
Arch. Ophthal., 46, 113 - 124

GRANT W.M. et TROTTER R. (1955)

Factors responsible for the resistance to outflow of intraocular fluid.
Acta XVII Conc. Ophthal. Canada - USA, 3, 1536 - 1545

GRANT W.M. (1955)

Clinical aspects of the outflow of the aqueous humor : II. Tonography.
Glaucoma : A Symposium - Blackwell - Oxford, 126 - 146

GRANT W.M. et TROTTER R. (1955)

Tonographic measurements in enucleated eyes.
Arch. Ophthal., 53, 191 - 200

GRANT W.M. (1955)

Facility of flow through the trabecular meshwork.
Arch. Ophthal., 54, 245 - 248

GRANT W.M. (1958)

Further studies on facility of flow through the trabecular meshwork.
Arch. Ophthal., 60, 523 - 533

GRANT W.M. (1961)

Experimental Tonography.
Trans. Amer. Acad. Ophthal., 65, 152 - 155

GREINECKER O. (1963)

Die Tonographie als Untersuchungsmethode und ihre Kombination mit dem Wassertrinkversuch in der praktischen Anwendung.
Klin. Mbl. Augenheilk., 142, 634 - 642

HORWICH H. et BREININ G.M. (1954)

Phasic variations in tonography.
Arch. Ophthal., 51, 687 - 694

KESSLER J. (1959)

The capacity of the outflow channels and the volume of the anterior chamber.
Arch. Ophthal., 61, 939 - 940

KORNBLUTH W. et LINNER E. (1955)

Experimental tonography in rabbits.
Arch. Ophthal., 54, 717 - 724

KRONFELD P.C. (1952)

Tonography.
Arch. Ophthal., 48, 393 - 404

KRONFELD P.C. (1961)

The principle of tonography : Terms and Definitions.
Trans. Amer. Acad. Ophthal., 65, 133 - 135

KÖNIG H. (1955)

Zur Anwendung tonographischer Tabellen.
Klin. Mbl. Augenheilk., 126, 401 - 409

LANGHAM M.E. (1959)

Influence of the intraocular pressure on the formation of the aqueous humor and the outflow resistance in the living eye.
Brit. J. Ophthal., 43, 705 - 732

LAWRENCE C. et WOLFF S.M. (1962)

The tonographic water drinking test in the early diagnosis of glaucoma.
J. Ophtal. Soc., 31 et 32, 15 - 20

LEVENE R.Z. (1961)

Tonometry and Tonography in a group health population.
Arch. Ophthal., 66, 42 - 47

LEYDHECKER W. (1955)

Die Häufigkeit des Glaukoms.
Ber. dtsch. Ophthal. Ges. Heidelberg, 59, 133 - 137

LEYDHECKER W. (1956)

Probleme bei der Diagnose und Therapie des Glaukoms.
Docum. Ophthal., 10, 174 - 219

LEYDHECKER W. (1956)

Belastungproben und Elektrotonographie zur Frühdiagnose des Glaukoms.
Klin. Mbl. Augenheilk., 129, 412

LEYDHECKER W. (1956)

Fehlerquellen bei der Elektrotonographie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 129, 126

LEYDHECKER W. (1957)

Die praktische Bedeutung von Tonometrie, Gonioscopie und Tonographie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 130, 587 - 600

LEYDHECKER W. (1958)

Grenzwerte der Tonographie auf Grund statistischer Berechnungen. Anderung der Methode.
Ber. dtsch. Ophthal. Ges. Heidelberg , 61, 325 - 331

LEYDHECKER W. (1958)

Tonography in the early diagnosis of simple glaucoma. A critical review on its fundamental conceptions and presentation of a new method.
Trans. Ophthal. Soc. U.K., 78, 553 - 564

LEYDHECKER W. (1958)

Ein neues Verfahren der klinische Tonographie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 132, 77 - 95

LEYDHECKER W. (1962)

Méthodes de diagnostic précoce du glaucome.
J. Ophtal. Soc., 31 et 32, 21 - 35

LINNER E. (1955)

Episcleral venous pressure during tonography.
Acta XVII Conc. Ophthal. Canada - USA, 3, 1532 - 1535

LINNER E. (1958)

Changeability test of aqueous outflow resistance.
Brit. J. Ophthal., 42, 38 - 53

Mc BAIN E.H. (1958)

Tonometer calibration - II. Ocular rigidity.
Arch. Ophthal., 60, 1080 - 1091

Mc GRATH H. (1956)

Tonography.
Trans. Ophthal. Soc. U.K., 76, 751 - 760

MACRI F.J., WANKO Th., GRIMES P.A. et von SALLMANN L. (1957)

The elasticity of the eye.
Arch. Ophthal., 58, 513 - 519

MANSHEIM B.J. (1953)

Aqueous outflow measurements by continuous tonometry in some unusual forms of glaucoma.
Arch. Ophthal., 50, 580 - 587

MANSOUR F., ARMALY M.D. et BURINNH M. (1958)

Changes in tonogram during accomodation.
Arch. Ophthal., 58, 60 - 69

MANSOUR F. et ARMALY M.D. (1961)

Regulatory changes in the dynamics of intraocular pressure evoked by tonometry and tonography.
Amer. J. Ophthal., 52, 821/389 - 830/398

MERTE H.J. (1956)

Tonographie mit dem Schiötz - Tonometer.
Klin. Mbl. Augenheilk., 129, 471 - 475

MERTE H.J. (1957)

Verbesserte Elektrotonographie mit einem Haltegerät.
Ophthalmologica, 133, 134 - 139

MERTE H.J. (1958)

Tonographie.
Ber. dtsch. Ophthal. Ges. Heidelberg, 61, 381 - 383

MERTE H.J. (1960)

Modificationen der Tonographie auf Grund von theoritischen Betrachtungen und klinischen Beobachtungen über das Verhalten des intraokularen Druckes während der Untersuchung.
Graefes Arch. Ophthal., 162, 299 - 317

MILLER S.J.H. et PATERSON G.O. (1962)

Studies on glaucoma relatives.
Brit. J. Ophthal., 46, 513 - 522

MOSES R.A. et BRUNO M. (1950)

The rate of outflow of fluid from the eye under increased pressure.
Amer. J. Ophthal., 33, 389 - 397

MOSES R.A. et BECKER B. (1958)

Clinical tonography - The scleral rigidity corrections.
Amer. J. Ophthal., 45, 196 - 207

MOSES R.A. (1958)

Constant-pressure tonography.
Arch. Ophthal., 59, 527 - 531

MOSES R.A. (1961)

Errors in tonography.
Trans. Amer. Acad. Ophthal., 65, 145 - 151

MÜLLER H. (1960)

Untersuchungen über die Abhängigkeit des Rigiditäts-koeffizienten vom intraokularen Druck am enukleierten menschlichen Auge.
Acta Ophthal. Kbh, 38, 91 - 99

NIHARD P. (1962)

Influence de la pression oculaire sur la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.
Acta Ophthal. KbH, 40, 12 - 27

NIHARD P. (1962)

Influence of the depth of the anterior chamber on the resistance to flow of aqueous humor.
Exp. Eye Res., 1, 229 - 233

NORDMANN J., GERHARD J.P. et LOBSTEIN A. (1961)

Efficacité de la tonométrie systématique dans le dépistage du glaucome chronique simple.
Bull. Soc. franç. Ophtal., 74, 44 - 49

OURGAUD A.G., ETIENNE M. et VOLA J. (1958)

La tonographie de longue durée.
Bull. Soc. franç. Ophtal., 71, 23 - 30

OURGAUD A.G. et ETIENNE R. (1961)

L'exploration fonctionnelle de l'oeil glaucomateux.
Bull. Soc. franç. Ophtal. - Rapport-Paris, MASSON et Cie

PERKINS E.S. et GLOSTER J. (1957)

Distensibility of the eye.
Brit. J. Ophthal., 41, 93 - 102

PRIJOT E. et WEEKERS R. (1951)

Mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse dans le glaucome chronique par l'épreuve de compression au tonomètre électronique.
Bull. Soc. belge Ophtal., 98, 353 - 365

PRIJOT E. et WEEKERS R. (1952)

Mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse au moyen du tonomètre électronique.
Ophthalmologica, 124, 12 - 16

PRIJOT E. et WEEKERS R. (1952)

Mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse au moyen du tonomètre électronique.
Ophthalmologica, 123, 1 - 15

PRIJOT E. et LAVERGNE G. (1955)

Etude tonographique du mode d'action du Diamox.
Bull. Soc. belge Ophtal., 111, 346 - 351

PRIJOT E. (1958)

Une nouvelle méthode tonographique.
Ophthalmologica, 136, 266 - 273

PRIJOT E. et WEEKERS R. (1959)

Contribution à l'étude de la rigidité de l'oeil humain normal.
Ophthalmologica, 138, 1 - 9

PRIJOT E. (1959)

Influence de la pression intraoculaire sur la formation et l'écoulement de l'humeur aqueuse.
Docum. Ophthal., 13, 191 - 205

PRIJOT E. (1959)

Au sujet d'une méthode destinée à améliorer la tonographie.
Docum. Ophthal., 13, 225 - 233

PRIJOT E. (1961)

Contribution à l'étude de la tonographie.
Docum. Ophthal., 15, 1 - 225

RAOULT J. (1958)

Mesure clinique de la résistance à l'écoulemert de l'humeur aqueuse.
Arch. Ophtal., 18, 657 - 661

REHAK S., SKRANC O. et JURAN J. (1961)

Volume responses of the eye to pressure loadings imitating tonography.
Exp. Eye Res., 1, 168 - 174

ROBERTS W. (1959)

Tonographic criteria in early glaucoma.
Amer. J. Ophthal., 48, 31 - 37

ROBERTS W. (1960)

Clinical tonography.
Amer. J. Ophthal., 49, 80 - 87

ROBERTS W. (1962)

Tonography in the management of glaucoma.
Trans. Amer. Acad. Ophthal., 65, 163 - 170

de ROETTH A. et KNIGHTON W.S. (1952)

Clinical evaluation of the aqueous flow test.
A preliminary report.
Arch. Ophthal., 48, 148 - 153

de ROETTH A. (1954)

Relation of tonography to phasic variations of intraocular pressure.
Arch. Ophthal., 51, 740 - 749

ROGERS W.J. et ROBERTS W. (1961)

Scleral rigidity determinations.
Amer. J. Ophthal., 51, 150 - 152

ROSEN D.A. et WARMAN A.G. (1962)

Observations on the clinical determination of scleral rigidity.
Amer. J. Ophthal., 54, 375 - 380

SCHEIE H.G., SPENCER R.W. et HELMICK E.O. (1956)

Tonography in the clinical management of glaucoma.
Arch. Ophthal., 56, 797 - 818

SOETEREN T. (1960)

Scleral rigidity in normal human eyes.
Acta Ophthal. KbH, 38, 303 - 311

SOETEREN T. (1960)

Aqueous flow in hypotonic and glaucomatous eyes.
Acta Ophthal. KbH, 38, 347 - 363

SOETEREN T. (1960)

The tonographic method for measuring aqueous flow.
Acta Ophthal. KbH, 38, 511 - 523

SOURDILLES G.P. et CHEVANNES H. (1956)

Intérêt de la mesure de la résistance à l'écoulement pour le diagnostic et le traitement du glaucome chronique simple.
Bull. Soc. Ophtal. France, 1, 175 - 177

SPENCER R.W., HELMICK E.D. et SCHEIE H.G. (1955)

Tonography - Technical difficulties and control studies.
Arch. Ophthal., 54, 515 - 527

SPURGEON W.M., BOLES-CARENINI B. et CAMBIAGGI A. (1958)

Are aqueous humor dynamics influenced by aging ?
Amer. J. Ophthal., 46, 845 - 855

STEPANIK J. (1954)

Measuring velocity of flow in aqueous veins.
Amer. J. Ophthal., 37, 918 - 922

STEPANIK J. (1954)

Diurnal tonography variations and their relation to visible aqueous outflow.
Amer. J. Ophthal., 38, 629 - 645

STEPANIK J. (1955)

Tonographie und Glaukomforschung.
Klin. Mbl. Augenheilk., 127, 40 - 50

STEPANIK J. (1957)

Die Tonographie und der episklerale Venendruck.
Ophthalmologica, 133, 397 - 405

STEPANICK J. (1957)

Wird die Skleralrigidität durch die Tonographie beeinflusst ?
Klin. Mbl. Augenheilk., 130, 585 - 587

STEPANIK J. (1958)

Das Verhalten der Skleralrigidität während des Wassertrinkversuches.
Ophthalmologica, 136, 174 - 178

STEPANIK J. (1958)

Tonographische Studien über den Wassertrinkversuch bei Glaucoma simplex.
Ophthalmologica, 136, 385 - 390

STEPANIK J. (1960)

Kritische Bemerkungen zur grantschen Tonographie.
Klin. Mbl. Augenheilk., 136, 867

STEPANIK J. (1961)

Die Tonographie.
Fortsch. der Augenheilk., 11, 120 - 255

STEPANIK J. (1962)

Weitere Untersuchungen über den Verlauf der Tonographie-Kurve.
Graefes Arch. Ophthal., 165, 103 - 108

STEPANIK J. (1962)

Neues zur Technik der Tonographie.
Docum. Ophthal., 16, 240 - 246

SUGAR H.S. (1957)

Tonography and fluorometry.
in "The glaucoma", 156 - 175

SUGAR S. et FAINSTEIN S. (1955)

The coefficient of outflow of aqueous.
Amer. J. Ophthal., 40, 693 - 697

WEEKERS R. et PRIJOT E. (1952)

Measurement of the resistance to the aqueous flow by the electronic tonometer.
Brit. J. Ophthal., 36, 511 - 517

WEEKERS R. et PRIJOT E. (1952)

Mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse au moyen du tonomètre électronique. Résultats dans les glaucomes chroniques simples.
Ophthalmologica, 123, 114 - 122

WEEKERS R. (1952)

Etude du mode d'action de la pilocarpine, de l'iridencleisis, de la diathermie rétro-ciliaire et de la cyclodialyse par la mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.
Bull. Soc. franç. Ophtal., 65, 183 - 192

WEEKERS R. et PRIJOT E. (1953)

Le traitement du glaucome à la lumière des mesures de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.
Année thér. Ophtal., 4, 545 - 555

WEEKERS R. et DELMARCELLE Y. (1954)

Mesure du débit de l'humeur aqueuse chez l'homme.
Ophthalmologica, 127, 373 - 385

WEEKERS R., WATILLON M. et de RUDDER M. (1956)

Experimental and clinical investigations into the resistance to outflow of aqueous humor in normal subjects.
Brit. J. Ophthal., 40, 225 - 233

WEEKERS R. et PRIJOT E. (1959)

Diagnostic précoce du glaucome débutant.
Bull. Soc. belge Ophtal., 121, 51 - 63

WIRTH A. (1956)

La misura tonografica della resistenza al delflusso dell'umor acqueo.
Boll. Ocul., 35, 872 - 888